# ANNALES DE L'AMÉLIORATION DES PLANTES

VOLUME 16 1966 NUMÉRO 4
TRIMESTRIEL

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

AAP16.4

## AVIS AUX LECTEURS

Les Annales publiées par l'I. N. R. A. comportent les huit séries suivantes :

**ANNALES AGRONOMIQUES.** — Agronomie générale et science du sol. — 6 fascicules par an.

**ANNALES DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE.** — 4 fascicules par an.

**ANNALES DE L'AMÉLIORATION DES PLANTES.** — 4 fascicules par an.

**ANNALES DES ÉPIPHYTIES.** — Pathologie végétale, zoologie agricole, phytopharmacie. — 4 fascicules par an (et un supplément : **« Études de Virologie »**).

**ANNALES DE L'ABEILLE.** — 4 fascicules par an.

**ANNALES DE ZOOTECHNIE.** — 4 fascicules par an.

**ANNALES DE TECHNOLOGIE AGRICOLE.** — 4 fascicules par an.

**ANNALES DE BIOLOGIE ANIMALE, BIOCHIMIE, BIOPHYSIQUE.** — 4 fascicules par an.

*AUTRES PUBLICATIONS RÉCENTES de l'I N. R. A.*

**Monographie des principales variétés de Pêchers. Période 1950-1962,** par **J. Hugard** et **R. Saunier.**
368 p., 1966 ..... Franco **48,00 F**

**Étude des communautés mycopéricarpiques du caryopse de Blé,** par **J. Ponchet.**
111 p., 1966 ..... Franco **16,00 F**

**Contribution à l'étude des protéines de Blé. Influence des facteurs génétiques, agronomiques et technologiques,** par **P. Feillet.**
94 p., 1965 ..... Franco **16,00 F**

**Quelques aspects des relations nutritionnelles entre la gestation et la lactation chez la Truie,** par **E. Salmon-Legagneur.**
137 p., 1965 ..... Franco **21,00 F**

**Physiologie nutritionnelle et sevrage des Porcelets. Séminaire international organisé par l'Institut national de la Recherche agronomique. Paris 23-25 septembre 1964,** publié par **E. Salmon-Legagneur** et **A. Aumaître,**
236 p., 1965 ..... Franco **24,00 F**

**Compte rendu du colloque sur « le problème des oiseaux sur les aérodromes ». Nice, 25-27 novembre 1963,** publié par **R. G. Busnel** et **J. Giban.**
328 p., 1965 ..... Franco **42,00 F**

**La classification des minéraux argileux,** par **G. Pedro.**
108 p., 1965 ..... Franco **23,00 F**

**Identfication d'une nouvelle maladie à virus de la vigne « la flavescence dorée «. Étude des phénomènes de localisation des symptômes et de rétablissement,** par **A. Caudwell.**
193 p., 1965 ..... Franco **25,00 F**

**Les variétés d'Avoine cultivées en France,** par **C. Moule.**
404 p., 1964 ..... Franco **53,00 F**

**L'eau et la production végétale.**
450 p., 1963 ..... Franco **40,00 F**

**Les maladies des plantes maraîchères. Volume I,** par **C. M. Messiaen** et **R. Lafon.**
153 p., 57 fig., 1963 ..... Franco **21,00 F**

**Les maladies des plantes maraîchères. Volume II,** par **C. M. Messiaen** et **R. Lafon.**
176 p., 57 fig., 1965 ..... Franco **26,00 F**

*Les commandes doivent être adressées au Service des Publications de l'Institut national de la Recherche agronomique, route de Saint-Cyr, 78 - Versailles.*

*Règlement : par chèque bancaire à l'ordre du Régisseur des Publications, par virement postal à son compte courant : Paris 9064-43 sans mentionner d'adresse ou par bons U. N. E. S. C. O.*

*Les demandes peuvent être souscrites également par l'intermédiaire des libraires dans les conditions habituelles.*

*A Paris, bureau de vente 11, rue Jean Nicot, 7eme.*

**INSTITUT NATIONAL**
**DE LA**
**RECHERCHE AGRONOMIQUE**
SERVICE DES PUBLICATIONS

Route de Saint-Cyr, 78 - VERSAILLES
Tél. 950-75-22

**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**
**MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE**

Your subscription for 1966 ends with this number.

It would be advisable to renew your subscription as soon as possible (1), to prevent any interruption in the expedition of the Annales

The subscriptions shall be sent to the Service des Publications de l'Institut national de la Recherche agronomique, route de Saint-Cyr, 78 - VERSAILLES (France).

(C.C.P. : Régisseur des Publications — Paris 9064-43).

Subscriptions can also be made through bookshops.

**1967 subscriptions charges for the various publications of the Institut national de la Recherche agronomique**

| | France | Étranger |
|---|---|---|
| | — | — |
| **Annales agronomiques** | **75 F** | **81 F** |
| **Annales de l'Amélioration des Plantes** | **55 F** | **59 F** |
| **Annales des Épiphyties** | **55 F** | **59 F** |
| **avec supplément : « Études de Virologie »** | **75 F** | **80 F** |
| **Annales de Zootechnie** | **55 F** | **59 F** |
| **Annales de Technologie agricole** | **55 F** | **59 F** |
| **Annales de Biologie animale, Biochimie, Biophysique** | **55 F** | **59 F** |
| **Annales de Physiologie végétale** | **50 F** | **54 F** |
| **Annales de l'Abeille** | **40 F** | **44 F** |
| **Annales des Sciences forestières** | **60 F** | **60 F** |

(1) If you have already renewed yours, please do not take this note in consideration.

IMP. BUSSIÈRE — Saint-Amand (Cher)

**INSTITUT NATIONAL**
**DE LA**
**RECHERCHE AGRONOMIQUE**
SERVICE DES PUBLICATIONS

Route de Saint-Cyr, 78 - VERSAILLES
Tél. 950-75-22

**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**
**MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE**

Votre abonnement 1966 se termine avec ce numéro.

Afin d'éviter toute interruption dans le service des Annales, il serait souhaitable que votre renouvellement 1967 soit effectué le plus rapidement possible (1).

Les demandes d'abonnement doivent être adressées au Service des Publications de l'Institut national de la Recherche agronomique, route de Saint-Cyr, 78 - VERSAILLES.

(C.C.P. : Régisseur des publications — Paris 9064-43).

Ils peuvent également être souscrits par l'intermédiaire des Libraires.

**Tarif des abonnements 1967 des différentes séries d'Annales de l'Institut national de la Recherche agronomique**

| | France | Étranger |
|---|---|---|
| | — | — |
| **Annales agronomiques** | **75 F** | **81 F** |
| **Annales de l'Amélioration des Plantes** | **55 F** | **59 F** |
| **Annales des Épiphyties** | **55 F** | **59 F** |
| **avec supplément : « Études de Virologie »** | **75 F** | **80 F** |
| **Annales de Zootechnie** | **55 F** | **59 F** |
| **Annales de Technologie agricole** | **55 F** | **59 F** |
| **Annales de Biologie animale, Biochimie, Biophysique** | **55 F** | **59 F** |
| **Annales Physiologie végétale** | **50 F** | **54 F** |
| **Annales de l'Abeille** | **40 F** | **44 F** |
| **Annales des Sciences forestières** | **60 F** | **60 F** |

(1) Si ce renouvellement a déjà été demandé, vous voudrez bien considérer que cette note ne vous concerne pas.

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE AGRONOMIQUE
Chaire d'Agriculture
GRIGNON

# ANNALES DE L'AMÉLIORATION DES PLANTES

VOLUME 16 1966 NUMÉRO 4

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE
149, rue de Grenelle-PARIS-7e

Reproduction, même partielle, interdite sans autorisation des auteurs et de l'Institut national de la Recherche agronomique, à l'exception des sommaires et résumés.

*Ann. Amélior. Plantes*, 1966, **16** (4), 311-325.

# ÉTUDE DE VARIÉTÉS DE CASSIS

B. LANTIN

avec la collaboration technique de Denise MARTIN

*Station de Recherches d'Arboriculture fruitière*, 49 - *Angers*

SOMMAIRE

Une collection de 33 variétés de Cassis a fait l'objet pendant cinq années (1961 à 1965) d'observations précises concernant le débourrement, la floraison, la maturité, la productivité, ainsi que les caractères morphologiques et biochimiques des fruits.

Cette étude a permis de choisir huit variétés propres à satisfaire producteurs et industriels.

## I. — INTRODUCTION

La culture du Cassis en France, autrefois localisée en Bourgogne, s'étend actuellement sur diverses régions dont les plus importantes sont : la Vallée de la Loire, l'Est, la Savoie, le Maine et une partie de la Bretagne.

La multiplicité des parcelles de petite surface et le caractère familial des exploitations rendent les statistiques imprécises. Toutefois on estime la production annuelle à 5 000 tonnes environ. Une vingtaine de variétés sont actuellement proposées par les pépiniéristes, mais la plupart d'entre elles sont souvent inconnues ou ignorées des producteurs dont les plantations renferment essentiellement les deux variétés traditionnelles *Noir de Bourgogne* et *Royal de Naples*. La récolte, exclusivement réservée autrefois à la fabrication des liqueurs et sirops, a trouvé ces dernières années un débouché nouveau et prometteur dans l'industrie des jus de fruit dont la consommation va croissante. Toutefois l'extension des cultures est actuellement limitée par un problème de rentabilité qu'il faut tenter de résoudre d'une part en assurant un rendement supérieur par sélection et amélioration du matériel végétal, d'autre part en réduisant les frais de production par une modernisation des techniques culturales.

Présentement nous nous limiterons à apporter une première contribution à l'étude et au choix des variétés commercialisées.

## II. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

### *Origine des variétés*

L'espèce Cassis groupe actuellement une centaine de variétés dénommées, issues pour la plupart de *Ribes nigrum* L. Toutes sont diploïdes $2n = 16$ et présentent de nombreux caractères communs : aspect des buissons, végétation, couleur des baies, odeur caractéristique du bois et du feuillage.

Autant que l'on puisse connaître les origines des différentes variétés, il semble qu'un nombre très restreint de géniteurs ait été utilisé parmi lesquels les plus fréquents ont sans doute été *Baldwin*, *Goliath* ou *Victoria*, *Géant de Boskoop* et *Champion*. Plus récemment des croisements interspécifiques ont permis d'élever le niveau de résistance à deux maladies graves : la Rouille (*Cronartium ribicola* FISCH) et l'Anthracnose (*Pseudopeziza ribis* KLEB). *Ribes ussuriense* JANCZ, utilisé par les Canadiens, a transmis aux variétés de *Ribes nigrum* un gène dominant de résistance à la Rouille. Trois hybrides résistants furent jusqu'à maintenant retenus par la Station d'Ottawa et dénommés *Consort*, *Crusader* et *Coronet*. Parallèlement les Russes ont employé *Ribes dikusha* FISCH. et la variété *Siberian* pour l'amélioration de la résistance à l'Anthracnose. *Primorsk Champion* est le principal hybride obtenu d'un croisement de *Ribes dikusha* par *Ribes nigrum*.

### *Constitution de la collection. Vérification de l'authenticité variétale*

Quatre-vingts introductions ont été effectuées à partir de pépinières françaises et des Stations de Recherches d'East Malling, I.V.T. Wageningen, John Innes et Long Ashton (1). Elles représentent trente-trois variétés.

Soixante-quinze des quatre-vingts lots reçus, comprenant chacun six ou huit touffes, ont pu être considérés comme des clones. Les cinq autres devaient leur hétérogénéité soit à une erreur en cours de multiplication, soit à la nature chimérique de la variété. Tel fut le cas pour *Daniel's September* qui présente des buissons de maturité précoce et d'autres de maturité tardive, les deux types pouvant se rencontrer sur le même pied. Quatorze introductions ne correspondaient pas à la dénomination variétale proposée. Un certain nombre ne présentant qu'un intérêt restreint du fait d'une faible productivité ou d'une qualité médiocre de la récolte fut éliminé en 1963. Quelques autres furent identifiées telles les *Noir de Naples* identiques à *Noir de Bourgogne*. Quant au reste, conservé sous numéro, nous l'avons considéré comme autant de variétés distinctes.

Il s'agit de :

| | |
|---|---|
| — *N 12* | Reçu sous le nom de *Blacksmith*. |
| — *N 27* et *N 30* | Identiques entre eux, reçus sous le nom de *Daniel's September*. |
| — *N 47* | Qui ressemble à *Cotswold Cross*, sous le nom de *Mendip Cross*. |
| — *N 72* | Reçu sous la dénomination de *Wellington XXX* auquel il ressemble beaucoup et qui pourrait être considéré comme une mutation précoce de cette variété. |

L'ensemble de la collection fut conduit en forme libre, les buissons subissant chaque année une taille modérée intermédiaire entre un simple élagage et une taille courte traditionnelle.

Il est évident qu'une espèce morphologiquement aussi peu diversifiée que le Cassis pose de sérieux problèmes d'identification variétale. HATTON, en 1920, a proposé une classification d'après la couleur des bourgeons en hiver, complétée en 1926 par HATTON et AMOS en se référant aux caractères estivaux, la coloration du bois et celle des pétioles. En 1950 enfin, TURNBULL présente une clé d'identification basée sur la coloration du bois et du pétiole au mois de juin, la pubescence du bois non aoûté et l'angle de base du limbe foliaire.

Ces caractères toutefois ne permettent que de distinguer les groupes variétaux et non les variétés entre elles. A l'intérieur d'un groupe il convient ensuite, pour avoir quelque certitude, de multiplier les observations phénologiques sur les touffes et d'étudier les caractères des fruits. Quelques indications complémentaires peuvent être données par le port des buissons, leur vigueur relative ou les sensibilités particulières aux parasites ou aux accidents climatiques.

(1) La constitution de cette collection et les observations des premières années ont été effectuées, à l'initiative de P. RÉMY, par L. DECOURTYE, Chargé de Recherches.

*Observations effectuées de 1961 à 1965*

*Phénologie :*

L'évolution de la végétation a été suivie par l'emploi de stades repères dont les définitions ont été calquées sur l'échelle établie par FLECKINGER pour les arbres fruitiers à pépins. Nous avons choisi pour le débourrement le stade C 1 qui correspond à la première feuille dépliée sur 50 p. 100 des bourgeons (fig. 1) ; pour la floraison le stade F 1 où la première fleur s'ouvre sur l'ensemble

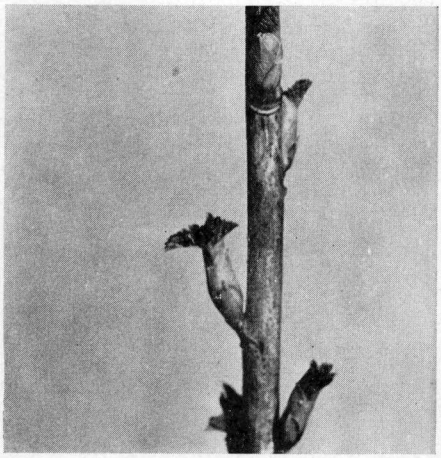


FIG. 1. — *Stade C1 = première feuille sortie du bourgeon.*

des grappes (fig. 2). Une échelle de véraison V 1 à V 5 facilite en outre les observations précédant la maturité. V 1 représente le stade où sur l'ensemble des grappes le premier grain se colore. V 5 celui où tous les grains sont noirs. Les stades intermédiaires indiquent le moment où 25 p. 100, 50 p. 100 et 75 p. 100 des baies sont noires.

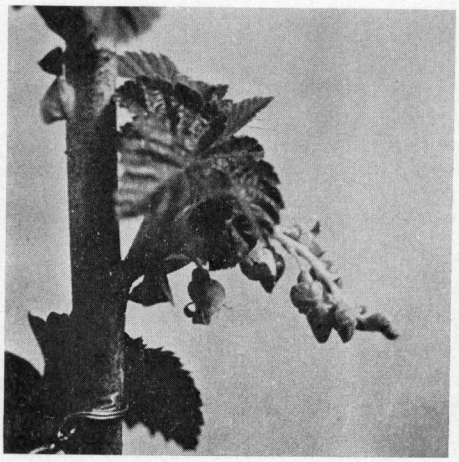


FIG. — 2. *Stade F1 = première fleur ouverte sur la grappe*

Aucun critère précis ne permet de fixer la date optimale de cueillette, toutefois l'acidité, le parfum, la coloration des baies, la diffusion des anthocyanes de l'épiderme vers la pulpe sont autant de caractères qui concourent à la définir.

*Étude de la productivité et des caractéristiques des fruits :*

Bien que le nombre réduit de touffes par variété et le dispositif adopté ne nous permettent pas d'utiliser l'analyse statistique pour faire apparaître des différences significatives, nous avons suivi depuis 1962 la productivité de chaque pied. Les fruits ont fait l'objet de descriptions détaillées. De plus nous avons mesuré la longueur des rafles prises sur un échantillon de 20 grappes et nous avons estimé le poids des grains par pesée de trois fois 100 baies.

*Analyses chimiques.*

Différentes analyses ont été effectuées sur des échantillons variétaux d'environ 200 g de fruits broyés au microbroyeur. Les bouillies obtenues ont fait l'objet de dosages de l'acide ascorbique, de mesures d'acidité et de pH, d'un contrôle de l'intensité de coloration des jus par comparaison à l'électrophotomètre avec des solutions de sulfate de cobalt et d'une détermination de l'indice de permanganate des polyphénols.

*Le dosage de l'acide ascorbique* se fait en milieu acide, très rapidement, de façon à réduire au maximum les pertes par oxydation. Cinq g de la bouillie triturés dans un bécher en présence d'une solution d'acide acétique à 1 p. 100 sont amenés à un volume de 500 ml. Sur 100 ml de cette solution filtrée on effectue un dosage iodométrique avec de l'iodate de potassium à N/50.

*L'acidité totale* est déterminée au pH mètre par titration à pH 7,0 avec une solution de soude N/5, sur une solution obtenue à partir de 5 g de grains écrasés additionnés de 50 ml d'eau. Les résultats sont exprimés en g d'acide sulfurique pour 100 g de fruits frais. Une mesure de pH fut en outre effectuée sur la bouillie elle-même.

*L'intensité de coloration des jus* est donnée par comparaison avec des solutions de sulfate de cobalt hydraté ($SO_4$ CO, 7 $H^2O$), à 1 p. 100, 2 p. 100, 3 p. 100 et 4 p. 100 mesurés à l'électrophotomètre de MEUNIER, écran 52. La matière colorante du Cassis est extraite en triturant 5 g de la bouillie à trois reprises avec 50 ml d'alcool à 95°. La première extraction demande au moins deux heures. Après chaque extraction le liquide obtenu par centrifugation est recueilli dans une fiole jaugée de 500 ml, complétée en fin d'opération avec de l'eau distillée. La solution est ensuite filtrée sur verre fritté puis une fraction de 5 ml est passée à l'électrophotomètre écran 52. En se reportant à la courbe témoin obtenue précédemment, le résultat est traduit en g de sulfate de cobalt pour 100 ml et correspond aux colorants libérés par 5 g de Cassis dans 500 ml d'une solution alcoolique à environ 27°.

*L'indice de permanganate* des polyphénols a été déterminé d'après la méthode décrite par RIBÉREAU-GAYON et MAURIE pour le dosage des composés phénoliques des vins rouges. Cette analyse est basée sur le pouvoir réducteur à froid des substances phénoliques vis-à-vis du permanganate. Tous les composés ne réduisant pas la même quantité de permanganate, l'indice obtenu est une valeur empirique qui n'a de sens que dans les conditions de dosage bien défini décrites par l'auteur.

## III. — RÉSULTATS

### *Observations phénologiques : débourrement, floraison, maturité*

Les indications concernant les stades végétatifs C 1 et F 1 pour l'ensemble des variétés étudiées sont présentées dans le tableau 1. Elles sont exprimées en nombre de jours par rapport à *Baldwin* et représentent la moyenne des cinq années d'observation, soit de 1961 à 1965. On constate entre ces variétés une amplitude d'environ quinze jours pour le débourrement et de treize jours pour le début de la floraison.

Une corrélation positive ($r = 0{,}78$) a pu être mise en évidence entre l'époque de ces deux stades indiquant ainsi qu'en pratique une variété à débourrement précoce présente également une floraison précoce (tabl. 2). Par contre, il n'est apparu aucune relation entre les époques de floraison et de maturité (tabl. 3).

La récolte du Cassis est effectuée lorsque toutes les baies de la touffe sont noires

(stade V 5). L'ensemble des variétés de notre collection, de la plus précoce à la plus tardive, doit être récolté en l'espace de trois semaines (tabl. 4). Les variétés précoces telles que *Mendip Cross, Laxton's Giant* ou *Géant de Boskoop* s'égrènent beaucoup plus

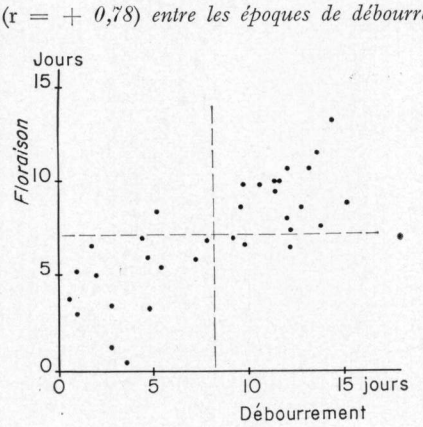
TABLEAU I

*Débourrement et floraison des variétés de Cassis*
Les données sont exprimées en nombre de jours par rapport à *Baldwin*
(date moyenne de débourrement : 12 mars — Floraison : 15 avril).

| Variété ou n° | Débourrement | Floraison | Variété ou n° | Débourrement | Floraison |
|---|---|---|---|---|---|
| *Davison's eight* | — 0,4 | 0,8 | *N 27 et N 30* | 8,8 | 6,8 |
| *Akkerman's bes* | 0 | 2,2 | *Rosenthal à longue grappe* | 8,8 | 3,6 |
| *Baldwin* | 0 | 0 | *Tinker* | 9,6 | 6,8 |
| *N 72* | 0,8 | 3,6 | *Silvergieter* | 10,4 | 7,0 |
| *Cotswold Cross* | 1,0 | 2,0 | *Laxton's Giant* | 10,4 | 6,4 |
| *Wellington XXX* | 1,8 | 0,4 | *Goliath* | 10,6 | 7,0 |
| *Brodtorp* | 1,8 | — 1,8 | *Merveille de la Gironde* | 11,0 | 5,0 |
| *Coronet* | 2,6 | — 2,6 | *N 12* | 11,0 | 7,6 |
| *N 47* | 3,4 | 4,0 | *Consort* | 11,2 | 3,4 |
| *Raven* | 3,7 | 2,9 | *Crusader* | 11,2 | 4,4 |
| *Malvern Cross* | 3,8 | 0,2 | *Noir de Bourgogne* | 11,8 | 5,6 |
| *Mendip Cross* | 4,2 | 5,4 | *Blacksmith* | 12,2 | 7,6 |
| *Westwick choice* | 4,4 | 2,4 | *Seabrook's Black* | 12,6 | 8,4 |
| *Magnus* | 6,2 | 2,8 | *Amos Black* | 12,8 | 4,6 |
| *Westwick Triumph* | 6,8 | 3,6 | *French* | 13,4 | 10,2 |
| *Rosenthal* | 8,2 | 4,0 | *Roodknop* | 14,2 | 5,8 |
| *Géant de Boskoop* | 8,6 | 5,6 | | | |

TABLEAU 2

*Corrélation positive* (r = + *0,78*) *entre les époques de débourrement et de floraison.*




rapidement que les variétés tardives telles que *Baldwin* ou *Amos Black*. Leur cueillette ne peut être différée sans risque lorsque la maturité est atteinte. Ceci s'explique par l'hétérogénéité des grappes, caractère souvent reproché d'ailleurs aux types précoces : lorsque les dernières baies mûrissent, les premières commencent fréquem-

TABLEAU 3

*Absence de corrélation entre les époques de floraison et de maturité.*

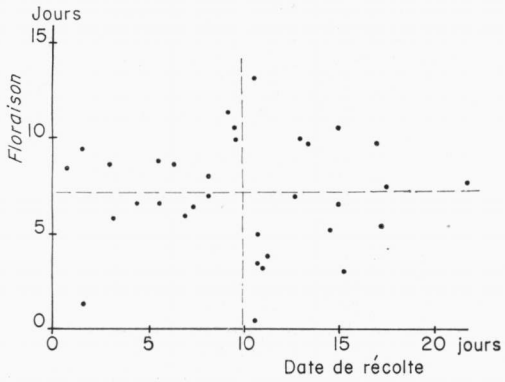
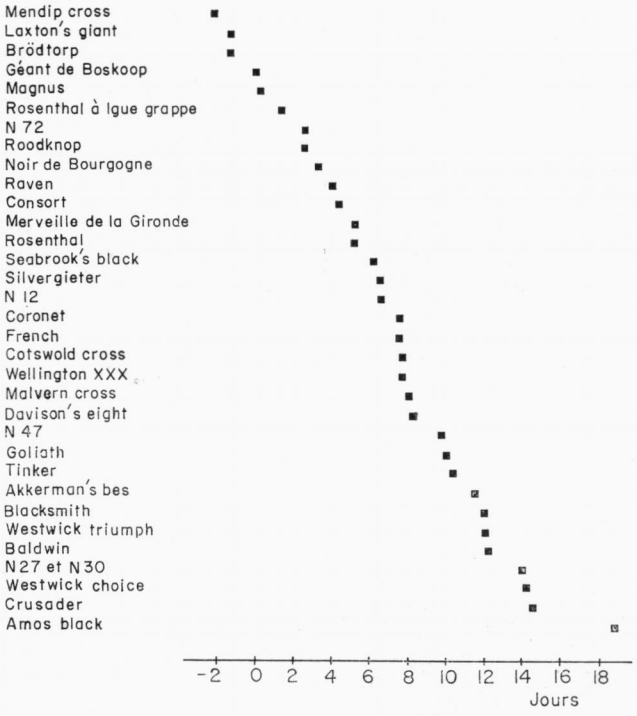



TABLEAU 4

*Échelle de maturité des Cassis*

(0 = Époque de maturité de *Géant de Boskoop* = date moyenne 2 juillet).



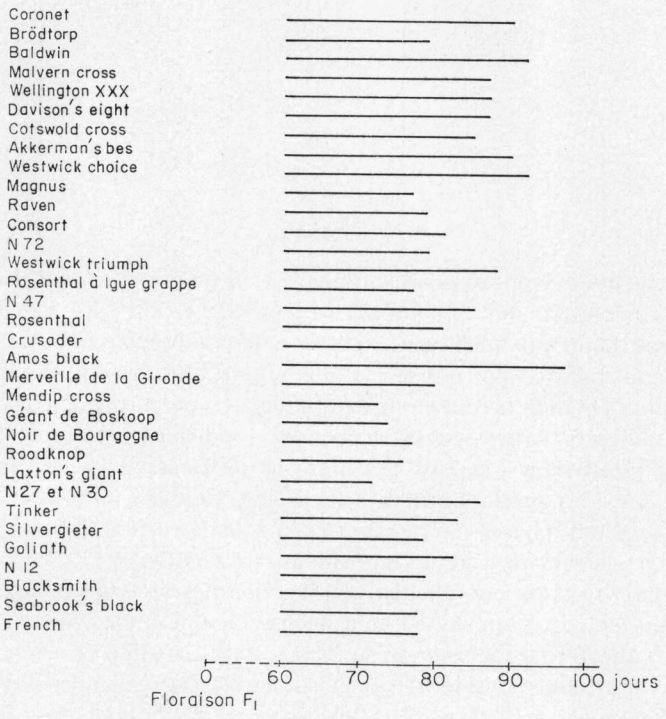
ment à tomber. Parmi ces variétés *Noir de Bourgogne* se singularise par une très grande homogénéité constatée à tous les stades, de la floraison à la maturité. En 1963 les baies d'*Amos Black* se conservèrent sur les buissons dix jours après la date de récolte normale.

*Prévision de la date de récolte*

Chaque variété peut être caractérisée par un nombre moyen de jours s'écoulant du début de la floraison (stade F 1) à la récolte. Dans notre région ce cycle peut varier de 72 jours, valeur obtenue pour *Mendip Cross* et *Laxton's Giant*, à 97 jours

TABLEAU 5

*Nombre de jours moyen entre la floraison (F1) et la maturité*
(les variétés sont ordonnées suivant leur date de floraison).




pour *Amos Black* (tabl. 5). Les variétés de maturité précoce ont un cycle plus court que celles de maturité tardive. Une fluctuation de 3 à 6 jours en plus ou en moins de ce nombre moyen résulte des conditions climatiques de l'année. L'utilisation d'une méthode permettant de transformer ce nombre de jours en somme d'action des températures devrait pouvoir réduire ces variations. Une étude comparable fut menée à Efford par HYLARY M. HUGUES et à Long Ashton par D. WILSON, leurs résultats similaires aux nôtres confirment l'intérêt de cette indication (tabl. 6).

Connaissant la durée approximative du temps nécessaire au développement

des fruits d'une variété donnée, le producteur est en mesure de prévoir dès la floraison sa campagne de récolte, celle-ci pouvant débuter suivant les années à des dates très différentes.

TABLEAU 6

*Nombre de jours entre la floraison et la maturité*
Comparaison des valeurs obtenues à Angers, Efford et Long Ashton.

| Variétés | Angers | Efford | Long Ashton |
|---|---|---|---|
| | Moyennes 1961-1965 | | |
| *Amos Black* | 97 | 92 | |
| *Baldwin* | 92 | 96 | 96 |
| *Géant de Boskoop* | 74 | 74 | 79 |
| *Cotswold Cross* | 85 | 92 | 91 |
| *Malvern Cross* | 87 | 95 | 96 |
| *Mendip Cross* | 72 | 76 | 84 |
| *Seabrook's Black* | 78 | 78 | 82 |
| *Westwick choice* | 92 | 94 | 95 |
| *Wellington XXX* | 87 | 87 | |

*Productivité*

Les rendements moyens rassemblés dans le tableau 7 ne peuvent donner qu'une idée très approximative des possibilités variétales. En effet les valeurs obtenues sur un très petit nombre de pieds sont sujettes à de nombreuses variations et demanderaient une confirmation par des essais plus importants. Quelques chiffres de rendements maxima obtenus permettront de donner un aperçu plus complet de la productivité de quelques variétés dans de bonnes conditions. Ainsi plus de 3 kg de fruits ont été récoltés en 1964 sur des buissons de *Baldwin*, *Géant de Boskoop* et *Wellington XXX* ; les productions d'*Amos Black*, *Consort*, *Cotswold Cross*, *Goliath* et *Westwick choice* ont dépassé 2,5 kg. De 1962 à 1965 la variété *Cotswold Cross* arrive en tête de notre classement avec un rendement très régulier.

La productivité varie énormément en fonction des facteurs écologiques et culturaux. *Wellington XXX* en milieu gélif accuse chaque année une coulure importante pouvant affecter la nouaison de 50 à 60 p. 100. La taille est également un élément essentiel qui influe considérablement sur la récolte. Quelques chiffres obtenus sur *Noir de Bourgogne* en 1964 et 1965 en démontrent l'importance : la production moyenne des buissons taillés normalement fut respectivement de 0,90 kg et 0,95 kg, tandis que les buissons non taillés, n'ayant subi qu'un élagage indispensable du bois âgé de plus de trois ans, portaient successivement 1,60 kg en 1964 et 1,55 kg en 1965.

Les résultats militent en faveur d'une taille très légère, simple élimination du bois improductif ou en surplus. Les différences de rendements seront d'autant plus importantes que l'on aura affaire à des variétés moins fertiles, elles sont beaucoup plus faibles pour *Wellington XXX* qui offre déjà une production appréciable sur bois d'un an. En 1965 les buissons taillés avaient un rendement moyen de 1,50 kg,

les non taillés de 1,90 kg. Il faut signaler encore que la variété *Consort*, dont nous reparlerons ultérieurement, ne fructifie que sur le bois âgé et demande donc une attention particulière au moment de la taille d'autant plus que, très vigoureuse, elle émet quantité de rejets et que la tendance naturelle est de remplacer trop rapidement les charpentières.

TABLEAU 7

*Productivité et caractéristiques morphologiques des fruits.*

| | Production cumulée en kg par touffe 1962-1965 | Longueur moyenne des grappes en mm 1963-1965 | Poids moyen de 100 baies en g 1963-1965 |
|---|---|---|---|
| *Akkerman's bes* | 3,8 | 59 | 107 |
| *Amos Black* | 3,9 | 50 | 127 |
| *Baldwin* | 4,6 | 53 | 100 |
| *Blacksmith* | 4,3 | 66 | 106 |
| *N 12* | 4,0 | 61 | 107 |
| *Brodtorp* | 1,1 | 61 | 108 |
| *Consort* | 4,7 | 66 | 85 |
| *Coronet* | 3,8 | 57 | 116 |
| *Cotswold Cross* | 6,4 | 50 | 101 |
| *Crusader* | 3,6 | 66 | 124 |
| *N 27 - N 30* | 3,3 | 65 | 112 |
| *Davison's eight* | 5,5 | 40 | 106 |
| *French* | 2,0 | 56 | 71 |
| *Géant de Boskoop* | 4,3 | 73 | 120 |
| *Goliath* | 4,7 | 53 | 138 |
| *Laxton's Giant* | 2,7 | 58 | 157 |
| *Magnus* | 3,3 | 57 | 74 |
| *Malvern Cross* | 4,4 | 52 | 94 |
| *N 47* | 5,5 | 50 | 97 |
| *Mendip Cross* | 3,8 | 61 | 89 |
| *Merveille de la Gironde* | 3,6 | 64 | 73 |
| *Noir de Bourgogne* | 4,1 | 61 | 93 |
| *Raven* | 3,6 | 68 | 101 |
| *Roodknop* | 4,2 | 61 | 107 |
| *Rosenthal* | 2,7 | 50 | 75 |
| *Rosenthal à longue grappe* | 4,5 | 72 | 116 |
| *Seabrook's Black* | 3,1 | 54 | 86 |
| *Silvergieter* | 4,0 | 58 | 135 |
| *Tinker* | 4,4 | 58 | 121 |
| *Wellington XXX* | 4,5 | 50 | 118 |
| *N 72* | 4,9 | 58 | 93 |
| *Westwick choice* | 3,9 | 45 | 126 |
| *Westwick Triumph* | 3,6 | 51 | 96 |

### *Caractéristiques morphologiques et biochimiques*

Outre les chiffres de rendement nous trouvons dans le tableau 7 les valeurs moyennes calculées de 1963 à 1965 concernant la longueur des grappes et la grosseur des baies exprimée en poids moyen de 100 grains. Le premier caractère est en rapport direct avec la facilité de cueillette manuelle. Les grappes longues sont généralement accrochées individuellement sur le rameau et comportent une base suffi-

samment dégagée pour faciliter la cueillette, tandis que les grappes courtes sont fréquemment groupées par deux ou trois, très compactes et dissimulées dans le feuillage.

Parmi les caractères des baies elles-mêmes, deux sont particulièrement importants, à savoir la facilité d'égrenage qui interviendra le jour où la récolte mécanique sera couramment pratiquée et la résistance de l'épiderme qui conditionne la manipulation. Les variétés dont les fruits s'écrasent facilement sont essentiellement *Mendip Cross, Géant de Boskoop, Goliath, Rosenthal à longue grappe, Wellington XXX* et *Westwick choice.*

Par contre *Amos Black, Baldwin, Cotswold Cross, Consort, Davison's eight, Laxton's Giant, Noir de Bourgogne, Raven, Roodknop, Silvergieter, Tinker* et *Westwick Triumph* ont à maturité normale des grains fermes, résistants à l'écrasement grâce à un épiderme suffisamment épais.

TABLEAU 8

*Résultats d'analyses chimiques.*

| Moyennes 1964-1965 | Teneur en vitamine C mg/100 g de fruits frais | pH grains écrasés | Acidité en $SO_4H_2$ g/100 g de fruits frais | Intensité de coloration $SO_4CO$ g/100 ml | Indice de $MnO_4K$ des polyphénols |
|---|---|---|---|---|---|
| *Amos Black* | 193,6 | 2,67 | 2,74 | 3,07 | 13,0 |
| *Baldwin* | 180,3 | 2,72 | 2,76 | 2,27 | 10,5 |
| *Consort* | 202,4 | 2,75 | 3,00 | 2,94 | 13,2 |
| *Coronet* | 154,0 | 2,67 | 2,68 | 2,20 | 10,2 |
| *Cotswold Cross* | 132,0 | 2,83 | 1,98 | 2,41 | 10,5 |
| *Crusader* | 198,0 | 2,67 | 2,72 | 2,66 | 12,0 |
| *N 27* | 193,6 | 2,74 | 2,48 | 2,89 | 12,2 |
| *Géant de Boskoop* | 162,8 | 2,79 | 2,55 | 1,95 | 9,0 |
| *Goliath* | 114,4 | 2,79 | 2,19 | 1,80 | 9,2 |
| *Laxton's Giant* | 202,4 | 2,83 | 2,51 | 1,92 | 9,5 |
| *Mendip Cross* | 193,6 | 2,87 | 2,35 | 2,15 | 9,0 |
| *Noir de Bourgogne* | 189,2 | 2,72 | 3,01 | 2,48 | 11,5 |
| *Silvergieter* | 162,7 | 2,95 | 2,01 | 1,93 | 9,7 |
| *Wellington XXX* | 162,7 | 2,83 | 2,22 | 2,16 | 11,5 |

Le Cassis produisant des fruits destinés à la transformation, il est difficile de porter un jugement suffisant d'après les seules qualités organoleptiques. La dégustation ne permet que l'appréciation de l'importance du parfum, caractère qui peut être pris en considération pour le choix de variété à jus.

*Baldwin, Cotswold Cross, Goliath, Laxton's Giant, Noir de Bourgogne* et *Silvergieter* sont parmi les variétés qui présentent les fruits les plus parfumés au moment de la récolte.

Les autres caractères tels que le rendement en jus, la teneur en sucre, l'acidité, la teneur en vitamine C et en colorant, nécessitent des analyses chimiques précises. Nous avons cherché à définir pour 14 variétés les caractères pouvant influer sur la qualité des produits de transformation en se basant sur les critères suivants :

— Teneur en acide ascorbique exprimée en mg pour 100 g de fruits frais.

— pH et acidité totale exprimée en g d'acide sulfurique pour 100 g de fruits frais.

— Intensité de coloration des jus exprimée par comparaison avec des solutions de sulfate de cobalt.

— Indice de permanganate des polyphénols.

Les valeurs rassemblées dans le tableau 8 représentent les moyennes des mesures de 1964 et 1965 : ces résultats confirment la qualité généralement reconnue à *Noir de Bourgogne*. *Amos Black* et *Consort* présentent également un niveau appréciable en ce qui concerne les caractères analysés. *Cotswold Cross* par contre et surtout *Goliath* présentent une carence notable en vitamine C.

Les fluctuations annuelles enregistrées, lors des analyses, sur les valeurs absolues de la teneur en acide ascorbique et du pH n'affectent pas l'ordre de classement des variétés. Aucune relation n'a pu être mise en évidence entre la teneur en vitamine C des baies et la productivité des variétés étudiées.

En 1965 après conservation des lots pendant trois mois à — 30° nous avons enregistré une perte de 11 à 24 p. 100 de la vitamine C et une diminution de l'acidité par rapport au produit frais (tabl. 9).

TABLEAU 9

*Perte en vitamine C et en acidité observée après trois mois de conservation à — 30°C.*

| | Teneur en vitamine C (mg pour 100 g de fruits) | | Acidité en $SO_4H_2$ (g pour 100 g de fruits) | |
|---|---|---|---|---|
| | Produit frais | Après conservation | Produit frais | Après conservation |
| *Géant de Boskoop* | 184,8 | 140,8 | 2,59 | 2,35 |
| *Laxton's Giant* | 211,2 | 176,0 | 2,50 | 2,09 |
| *Mendip Cross* | 193,6 | 158,4 | 2,40 | 1,91 |
| *Noir de Bourgogne* | 193,6 | 158,4 | 3,07 | 2,80 |
| *Silvergieter* | 158,4 | 140,8 | 2,04 | 1,54 |

## IV. — VARIÉTÉS SÉLECTIONNÉES

L'étude des caractéristiques agronomiques et technologiques présentées ci-dessus a permis d'éliminer bon nombre de variétés ne correspondant pas dans les conditions de notre région aux exigences modernes de production ou d'utilisation telles *Brödtorp, French, Laxton's Giant, Magnus, Rosenthal, Seabrook's Black* dont les rendements sont insuffisants ou *Mendip Cross* à baies trop fragiles. Par contre, huit variétés ont été retenues comme étant susceptibles de répondre aux objectifs des producteurs et des industriels.

### *Géant de Boskoop*

D'origine hollandaise, cette variété vigoureuse doit son intérêt essentiellement à sa précocité. On lui reproche souvent une maturité hétérogène des grappes et une sensibilité excessive à l'Anthracnose dans certains milieux.

*Noir de Bourgogne*

Peu connue à l'étranger, cette vieille variété française malgré une productivité parfois un peu faible bénéficie d'un renom de qualité, justifié d'ailleurs, et confirmé par les résultats d'analyse. Nous avons jugé utile, à la suite d'une prospection des plantations de la Côte-d'Or, d'introduire une dizaine de clones d'origines géographiques différentes en vue de sélectionner le type le plus intéressant.

*Consort*

*Consort* résulte d'un croisement de *Kerry* × *Ribes ussuriense* réalisé à la Station d'Ottawa dans le cadre d'une amélioration génétique de la résistance à la Rouille (*Cronartium ribicola*). Les buissons très érigés émettent quantité de rejets élancés mais de faible diamètre. La fructification s'établit surtout sur le bois âgé.

*Silvergieter*

Semis de *Géant de Boskoop* cette variété en a conservé les principaux caractères. Les baies sont toutefois de maturité plus homogène et très parfumées.

*Cotswold cross*

Issue d'un croisement de *Baldwin* × *Victoria* réalisé en 1920 à Long Ashton, cette variété peut en milieu gélif avoir un rendement supérieur à *Wellington XXX*. Elle ressemble par de nombreux caractères à *Davison's eight*.

*Wellington XXX*

Créée à East Malling en 1913 *Wellington XXX* résulte d'un croisement de *Géant de Boskoop* × *Baldwin*. Facilement reconnaissable en juin à ses pousses colorées, c'est une variété très productive, le bois d'un an portant déjà une récolte appréciable. Un type de maturité plus précoce introduit sous le n° N 72 fleurit quelques jours plus tard et semble plus résistant aux gelées printanières.

*Baldwin*

D'origine inconnue, *Baldwin* est une très bonne variété ancienne à laquelle on peut toutefois reprocher sa très grande sensibilité à la Rouille. Elle a donné le jour à un certain nombre de mutations dont *Daniel's September*. La sélection *Hilltop* ne nous est pas apparue supérieure au type normal.

*Amos black*

Ce cassis fut créé en 1927 à East Malling à la suite d'un croisement de *Goliath* × *Baldwin*.

De très bonne qualité mais de rendement moyen son intérêt réside essentiellement dans sa tardivité qui permet un élargissement de la gamme de maturité des Cassis.

## V. — CONCLUSION

L'avenir de la culture du Cassis et l'intérêt d'une amélioration variétale sont actuellement étroitement liés aux conditions économiques qui assurent la rentabilité de cette production.

La crise qui sévit actuellement et affecte les plantations françaises du type encore traditionnel ne peut être surmontée que par une modification profonde du mode de culture assurant une production supérieure à un coût de revient moindre. La sélection de matériel exempt de viroses graves, homogène et productif doit être accompagnée de la mise au point de techniques culturales appropriées. Nous avons soulevé déjà le problème de la taille qui doit être étudiée en vue d'une augmentation des rendements, mais le point essentiel réside dans les possibilités de mécanisation.

Actuellement les travaux d'entretien du sol sont déjà mécanisés au moins dans l'entre-rang. Le désherbage chimique doit pouvoir assurer à son tour le contrôle des mauvaises herbes sur le rang.

FIG. 3. — *Récolte mécanique : Secoueur « Mi-Dox Berrymaster » en fonctionnement.*

La solution entrevue au problème posé par la récolte semble devoir assurer, dans les années prochaines, un renouveau d'intérêt aux cultures en réduisant les frais de main-d'œuvre. Plusieurs modèles de secoueurs de conception anglaise ou allemande sont à l'essai actuellement et donnent des résultats prometteurs. La saison 1966 nous permettra, grâce à l'acquisition récente d'un tel secoueur (fig. 3) de

mesurer l'aptitude à la récolte mécanique des différentes variétés, nouveau critère qui devra tenir une place importante dans la suite de notre programme de sélection.

*Reçu pour publication en juin* 1966.

## REMERCIEMENTS

Nous adressons nos remerciements à nos collègues de la Station d'Œnologie et de Viticulture d'Angers qui nous ont conseillé utilement et ont mis à notre disposition le matériel nécessaire pour mener à bien la partie chimique de notre étude.

## SUMMARY

STUDY OF BLACK-CURRANT VARIETIES

A collection of 33 varieties of Black-currant established at the Fruit Breeding Station at Angers has given opportunity to accumulate during five years (1961-1965) the following observations : the bursting of buds, (tabl. 1) date of flowering and maturity, (tabl. 4) productivity and some morphological (tabl. 7) and biochemical (tabl. 8) characteristics of the fruit.

A positive correlation has become noticeable between the time of bud-bursting and the time of flowering (tabl. 2). In contrast no relationship exists between the time of flowering and the date of maturity : the minimum number of days between flowering and maturity is characteristic of each variety (tabl. 3). Depending on the varieties, this number can, in our conditions, vary from 72 to 97 days (tabl. 5). The earliest variety is *Mendip Cross*, the latest is *Amos Black*.

The maximum yield has been furnished by *Cotswold Cross*.

Chemical analysis of three characters, amount of vitamin C, acidity and colour of juice, has on the one hand confirmed the quality of the following varieties : *Amos Black, Consort* and especially *Noir de Bourgogne ;* on the other hand *Cotswold Cross* and *Goliath* are poor in vitamin C (tabl. 8).

Therefore eight varieties have been retained for their cultural and industrial interest. These are, in order of maturity, *Geant de Boskoop, Noir de Bourgogne, Consort, Silvergieter, Cotswold Cross, Wellington XXX, Baldwin* and *Amos Black*.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DECOURTYE L., LANTIN B., 1965. Amélioration de la culture du Cassis. *Pomologie Française*, **4**, p. 103-121.

FLECKINGER J., 1948. Les stades végétatifs des arbres fruitiers en rapport avec les traitements. *Congr. Pomol. Angers*, 1948, C. R. 81-93.

HATTON R. G., 1920. Black Currant varieties. A method of classification. *J. Pomol.*, **1**, 65-80, 145-154. (in *Knight R. L.* and *Keep Elizabeth*, 1955, *Abstr. Bibl. of Fruits Breed. and Genetics. Rubus and Ribes. A Survey*, nº 459, 104).

HATTON R. G., AMOS J., 1927. Some new and old varieties of Black currant. Rep. E. Malling Res. Sta. for 1926, 39-46 (in *Knight R. L. and Keep Elizabeth*, 1955, *Abstr. Bibl. of Fruit Breed. and Genetics. Rubus and Ribes. A Survey*, nº 462, 104).

HUGUES HILARY M., 1965. Flowering date can determine the picking date. *Grower*, **63**, 911-913.

HUNTER A. W. S., 1950. Small fruits-black currants. *Progr. Rep. Centr. exper. Farm Ottawa*, 1934-48, 26-29.

KALASEC J., BLAHA J., 1965. Ergebnisse der Sortenprüfungen mit Johannisbeeren für südlichere Gebiete. *Mitt. Obst und Garten Klosterneuburg*, **6**, 282-288.

MARRO M., 1959. La coltura del Ribes nero. *Frutticoltura*, XXI, 5, 463-472.

MARRO M., 1961. *Il Ribes nero*. 1 vol., 120 p. Edizioni Agricole Bologna.

PISANI P. L., BALDINI M., 1962. Contributo allo studio di alcune cultivar di ribes nero. In *La Coltura del Ribes Nero*, 105-129, Tipocolor, Firenze.

RIBÉREAU-GAYON J., PEYNAUD E., 1958. *Analyse et contrôle des vins. Indice de permanganate des vins rouges* (méthode Ribéreau-Gayon et Maurié), 320-321, Béranger, Paris.

TODD J. C., 1962. Black currant varieties. Their classification and identification. *Tech. Bull. Min. Agric.*, Lond., **11**, 94 p.

TRIOREAU P., 1964. *Framboisiers, groseilliers, cassis*, 286 p. Bibl. d'Horticulture pratique. Baillière et Fils, Paris.

TYDEMAN H. M., 1949. Amos black : a promising new black currant variety. *Rep. E. Malling Res. Stat. for* 1948, 82.

WILSON D., 1959. Prediction of harvest date for black currants. *Long Ashton Ann. Rep.* 1958, 78-81.

*Ann. Amélior. Plantes*, 1966, **16** (4), 327-347.

# HÉRÉDITÉ DE LA RÉSISTANCE AU PHYLLOXÉRA RADICICOLE CHEZ LA VIGNE (1)

D. BOUBALS

avec la collaboration technique de R. PISTRE

*Station de Recherches viticoles,*
*Centre de Recherches agronomiques du Midi,*
*École nationale supérieure agronomique, 34 - Montpellier.*

## SOMMAIRE

Dans ce travail sont donnés les résultats de la détermination de la résistance phylloxérique en serre de descendances parentales, $F_1$, $F_2$ et recroisements chez quatorze croisements interspécifiques réalisés dans le genre *Vitis*. Ces croisements ont été effectués d'une part entre espèces résistantes et sensibles et d'autre part entre espèces plus ou moins résistantes. Ces résultats ont permis de préciser les modalités de la transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole chez la vigne.

En fin de travail sont examinées les possibilités d'amélioration de la résistance de la vigne au phylloxéra.

## INTRODUCTION

Depuis l'importance prise par le phylloxéra dans les vignobles du monde il a été fait quelques études *fragmentaires* sur le mode de transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du genre *Vitis*.

En 1914, RASMUSON déclarait que la résistance au phylloxéra paraissait dominante dans les croisements.

H. BREIDER (1939, 1955) a aussi abordé ce problème en Allemagne lors d'observations pratiquées sur des infestations de descendances de certains croisements inter-

(1) Ce travail fait partie d'une étude générale portant sur les causes et l'hérédité de la résistance aux principaux parasites de la vigne : Mildiou (BOUBALS, 1959) ; Oïdium (BOUBALS, 1961) et Phylloxéra radicicole (BOUBALS, 1966).

spécifiques de *Vitis*. Malheureusement sa notation de la résistance et de la sensibilité a été basée uniquement sur l'aspect des nodosités et jamais sur les tubérosités. De plus, il ne s'est pratiquement intéressé qu'aux croisements *Vitis riparia* × *Vitis vinifera* et *Vitis rupestris* × *Vitis vinifera*, les seuls qui n'aient jamais donné de plantes suffisamment résistantes pour pouvoir être utilisées comme porte-greffes valables. A la suite de l'interprétation de ses observations BREIDER était arrivé à la conclusion que la résistance était conditionnée par un grand nombre de gènes.

C'est d'après les observations faites durant les travaux de sélection, en particulier dans le cas des croisements *V. vinifera* × *V. Berlandieri*, que l'on peut penser (LEVADOUX, 1951) que la transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole ne doit pas se faire de la même façon dans tous les croisements interspécifiques. En effet les croisements *Vinifera-Berlandieri* ont été les seuls où intervient la vigne européenne à donner des descendants $F_1$ très résistants à l'insecte, utilisables comme porte-greffes.

Certaines espèces n'ont été utilisées dans des croisements avec *V. vinifera* que récemment : PRINTZ et KISKIN (1961) signalent avoir obtenu des descendants résistants dans le croisement *V. vinifera* × *V. Amurensis*.

Enfin très récemment, aux U. S. A., DAVIDIS et OLMO (1964) ont donné des résultats concernant l'étude de la résistance au phylloxéra radicicole d'un certain nombre d'hybrides entre *V. vinifera* et *V. rotundifolia*. Il apparaît que la résistance est conditionnée chez cette dernière espèce par des gènes présentant une dominance considérable à la génération $F_1$.

Ce sont là, à peu près, les seules données de la bibliographie sur cette question de l'hérédité de la résistance au phylloxéra radicicole.

Nous voyons donc que le problème du mode de transmission héréditaire de ce caractère dans le genre *Vitis* mérite une étude générale et complète.

Nous avons étudié ce problème de 1960 à 1965 en utilisant l'important matériel végétal dont nous disposons à l'École nationale supérieure agronomique de Montpellier et au domaine expérimental de Vassal (I.N.R.A.) : espèces, hybrides interspécifiques et descendances déjà utilisés dans nos précédentes recherches sur l'hérédité de la résistance de la vigne au Mildiou et à l'Oïdium (BOUBALS, 1959, 1961).

Au cours de ce travail nous avons déterminé la résistance ou la sensibilité de plus de huit mille individus appartenant à cinquante-sept descendances différentes.

Les résultats obtenus dans notre précédente étude de la distribution et des causes de la résistance au phylloxéra radicicole chez les Vitacées (BOUBALS, 1966) nous ont permis d'organiser rationnellement les présentes recherches et nous ont aidé à interpréter les résultats de distribution de la résistance et de la sensibilité dans les descendances.

## MATÉRIEL ET TECHNIQUES

### *Matériel végétal*

L'étude de la transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole a été entreprise sur du matériel constitué par des plants de semis de l'année et de deux ans et sur des boutures racinées de clones appartenant à des descendances établies au domaine expérimental de Vassal.

Ces individus représentaient des $F_1$ intraspécifiques ou interspécifiques, des $F_2$ et des croisements de retour interspécifiques.

Le matériel génétique utilisé est surtout constitué par des descendances issues de croisements entre l'espèce européenne très sensible *V. vinifera* et des espèces américaines plus ou moins résistantes au phylloxéra. Notre effort a particulièrement porté sur l'étude du croisement *V. vinifera* × *V. Berlandieri* qui a été le seul à donner des clones $F_1$ suffisamment résistants à l'insecte pour être utilisés comme porte-greffes (exemples : *41 B* et *333 EM*).

Nous avons aussi étudié la transmission héréditaire de la résistance dans des croisements entre espèces américaines.

*Techniques*

La détermination de la résistance a été faite en serre sur des plantes cultivées en pots tronconiques de 12 cm de haut et de 12 et 7 cm de diamètres. Ces pots étaient remplis de terre de bruyère légère ne se tassant pas. Il y avait un plant de semis par pot ou deux boutures du même génotype.

Nous avons utilisé la même technique que celle qui nous a permis d'étudier la distribution de la résistance au phylloxéra radicicole chez les Vitacées (BOUBALS, 1966).

Ces plants ont été inoculés quatre fois par an, de juillet à fin août, avec chaque fois quatre ou cinq feuilles présentant chacune une dizaine de galles phylloxériques récemment formées.

La détermination de la résistance des racines a été faite en hiver. La notation de la résistance et de la sensibilité a été réalisée suivant quatre classes 0, 1, 2, 3 d'après le nombre de tubérosités présentes sur les racines et la gravité des dommages qu'elles représentent pour le système radiculaire de la plante considérée. Cette échelle de notation est définie en détail dans le travail cité plus haut (BOUBALS, 1966).

Nous la rappelons brièvement :

*Classe 0* : Pas de tubérosités sur toutes les racines de la plante examinée ; en cas de besoin il peut être distingué deux sous-classes :

o sans nodosités sur les radicelles,
o avec nodosités sur les radicelles.

*Classe 1* : Sur l'ensemble des racines de la plante examinée on voit une ou deux tubérosités dont la nécrose des tissus est localisée dans la partie corticale de la racine et n'atteint pas le liber.

*Classe 2* : Deux cas se présentent :

— sur l'ensemble des racines de la plante examinée il y a peu de tubérosités mais dont la nécrose pénètre jusqu'au liber ou au bois de la racine ;

— sur l'ensemble des racines de la plante examinée il y a de nombreuses tubérosités disposées en chapelet et dont la nécrose des tissus est plus ou moins pénétrante, sans pour cela que les racines soient complètement décomposées comme dans la classe suivante.

*Classe 3* : Les tubérosités sont très nombreuses, les racines sont toutes entièrement mortes ou presque.

Nous signalons que les classes 0 et 1 correspondent à une résistance pratique en plein champ, alors que les classes 2 et 3 correspondent à la sensibilité dans les mêmes conditions.

Les différentes classes de résistance et de sensibilité sont représentées sur les figures 1 (boutures) et 2 (plants de semis).

Lorsqu'un génotype était représenté par plusieurs plantes on donnait à ce génotype la note de la plante qui s'était avérée la plus sensible.

Lorsque l'inoculation par l'insecte était réalisée sur des plants issus de semis effectué l'année même, on répétait l'inoculation l'année suivante sur les plantes des classes 0, 1 et 2. On n'a tenu compte finalement que de la note la plus sévère qu'avait reçu chaque plant de semis après deux ans d'inoculation par le phylloxéra.

Comme dans notre travail sur la distribution et les causes de la résistance au phylloxéra radicicole chez les Vitacées, nous avons utilisé pour les inoculations de plantes, des galles phylloxériques prélevées dans les collections de vigne de l'École nationale supérieure agronomique de Montpellier et à quelques dizaines de kilomètres de là dans des vignes-mères de porte-greffes du Gard. Nous n'avons tenu aucun compte de la théorie fort discutée des races biologiques de phylloxéra.

## RÉSULTATS

Nous donnerons tout d'abord les résultats des observations que nous avons effectuées sur les croisements où intervient l'espèce très sensible *Vitis vinifera*. Ensuite nous examinerons les croisements entre espèces résistantes.

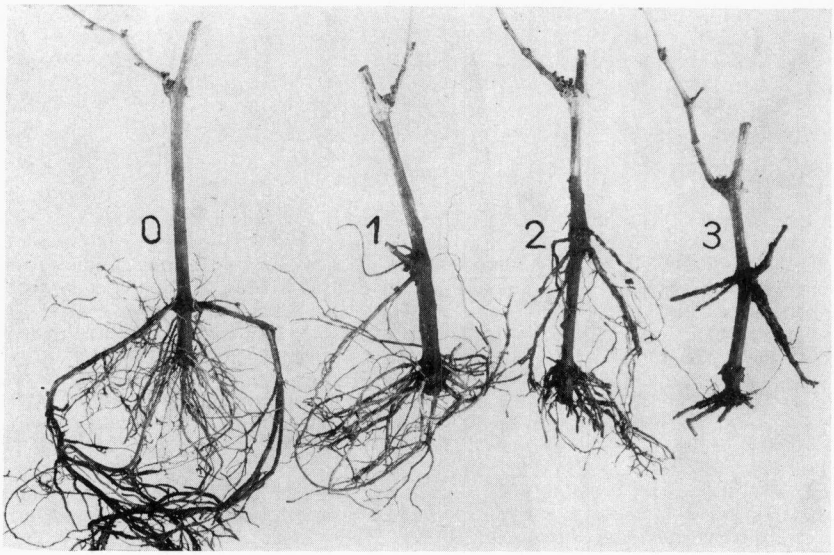



FIG. 1. — *Les différents types de résistance et de sensibilité au phylloxéra radicicole lors des inoculations de descendants de croisements représentés par des boutures racinées*

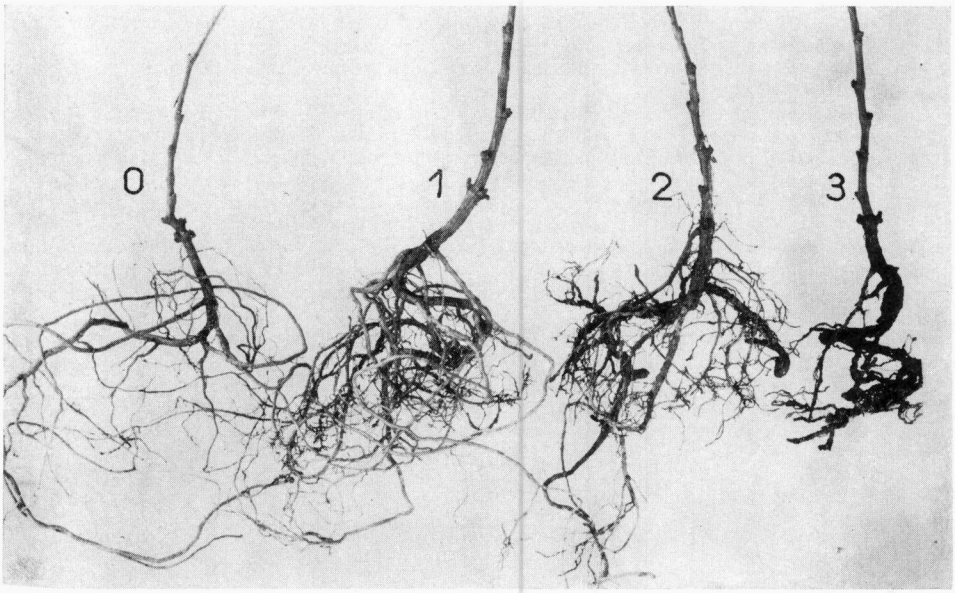



FIG. 2. — *Les différents types de résistance et de sensibilité au phylloxéra radicicole lors des inoculations de descendants de croisements représentés par des plants de semis de l'année*

## I. — *Croisements entre espèces américaines et* Vitis vinifera

*Vitis vinifera* × *Vitis Berlandieri.*

Nous avons particulièrement insisté sur l'étude de ce croisement interspécifique puisque c'est le seul, où entre l'espèce très sensible *V. vinifera*, qui ait donné des plantes $F_1$ suffisamment résistantes pour être utilisées comme porte-greffes dans la pratique viticole.

La répartition en classes de résistance et de sensibilité des dix sept descendances soumises à l'action du phylloxéra est donnée dans le tableau 1.

La résistance en serre des différentes variétés et hybrides entrant dans les croisements est la suivante :

— variétés de *V. Berlandieri : Thyers* = 0, *Malègue n° 43* = 0, *Macquin n° 1* = 1 *Malègue n° 6* = 1, *Malègue n° 112* = 1, *Planchon* = 1. La résistance est inconnue pour *Laffont n° 9* et *Macquin n° 4*, ces variétés n'ayant pas repris de bouture en serre.

— $F_1$ : *Berlandieri-Colombard n° 2* (classe 3) est issu du croisement d'un *Berlandieri* par le *V. vinifera Colombard* ;

— 41 B (classe 1) est issu du croisement d'un *Berlandieri* par le *V. vinifera Chasselas* ;

— *333 E. M.* (classe 2) est issu du croisement d'un *Berlandieri* par le *V. vinifera Cabernet-Sauvignon* ;

— individus issus du recroisement *41 B* × *V. vinifera Carignan* : *354-5-6* (classe 2), *354 A-N-2* (classe 2) ;

— variétés de *V. vinifera* : (classe 3).

L'examen du tableau 1 montre que les croisements interspécifiques de *V. Berlandieri* ne donnent pratiquement que des descendants résistants. Comparativement avec les croisements intraspécifiques de *V. riparia* et *V. rupestris* donnés par la suite on voit qu'il y a plus de facteurs de résistance chez *V. Berlandieri*.

Les résultats obtenus avec les $F_1$ montrent qu'à cette génération on obtient une grande dispersion dans la résistance et la sensibilité. *La résistance au phylloxéra radicicole dépend de plusieurs gènes. Il y a des phénomènes de dominances de la résistance* qui apparaissent chez certains descendants $F_1$ qui sont aussi résistants que le parent *Berlandieri*, par contre, d'autres sont sensibles.

Dans les croisements de retour avec *V. Berlandieri* on voit que l'on obtient moins de plants résistants avec le *333 E.M.* qu'avec le *41 B*. Cela est en accord avec le fait que nous avons trouvé en serre le *333 E.M.* nettement moins résistant que le *41 B*.

Dans les recroisements du *41 B* avec différentes variétés de *V. vinifera* on obtient des résultats assez homogènes. Il ne paraît donc pas y avoir de différences génétiques très marquées entre les variétés *V. vinifera* quant à la sensibilité au phylloxéra radicicole.

Les résultats du croisement de *333 E.M.* avec *V. vinifera* montrent encore que cette plante $F_1$ a moins de facteurs de résistance que le *41 B*.

Le deuxième croisement de retour avec *V. vinifera* de plantes de classe 2 issues

du premier rétrocroisement *41 B* × *V. vinifera Carignan*, montre que par suite des phénomènes de dominance partielle de la résistance au phylloxéra radicicole des gènes de *V. Berlandieri*, il est encore possible d'obtenir des plantes ayant une résistance notable.

TABLEAU I

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. vinifera × V. Berlandieri

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| *V. Berlandieri Laffont n° 9* × *V. Berlandieri Malègue n° 112* ..... | $P_B$ | 6<br>26,0 % | 15<br>65,2 % | 2<br>8,6 % | |
| *V. Berlandieri Malègue n° 43* × *V. Berlandieri Macquin n° 4* ..... | $P_B$ | 11<br>61,1 % | 7<br>38,8 % | | |
| *V. Berlandieri Malègue n° 6* × *V. Berlandieri Macquin n° 4* ..... | $P_B$ | 16<br>40,0 % | 23<br>57,5 % | 1<br>2,5 % | |
| *V. Berlandieri Macquin n° 1* × *V. vinifera Chasselas* ..... | $F_1$ | 5<br>5,8 % | 7<br>8,2 % | 13<br>15,2 % | 60<br>70,5 % |
| *V. Berlandieri Malègue n° 6* × *V. vinifera Aparte probes* ..... | $F_1$ | 11<br>8,2 % | 33<br>24,8 % | 54<br>40,6 % | 35<br>26,3 % |
| Autofécondation de *Berlandieri Colombard n° 2* | $F_2$ | | 1<br>1,0 % | 13<br>13,2 % | 84<br>85,7 % |
| *41 B* × *333 E. M.* ..... | $F_2$ | 9<br>15,2 % | 14<br>23,7 % | 13<br>22,0 % | 23<br>38,9 % |
| *V. Berlandieri Malègue n° 43* × *333 E. M.* ..... | $R_B$ | | 16<br>14,9 % | 46<br>42,9 % | 45<br>42,0 % |
| *41 B* × *V. Berlandieri Thyers* ..... | $R_B$ | 8<br>7,3 % | 42<br>38,5 % | 28<br>25,6 % | 31<br>28,4 % |
| *41 B* × *V. vinifera Carignan* ..... | $R_V$ | 8<br>0,8 % | 135<br>14,9 % | 417<br>46,1 % | 344<br>38,0 % |
| *41 B* × *V. vinifera Chasselas* ..... | $R_V$ | 6<br>8,9 % | 5<br>7,4 % | 17<br>25,3 % | 39<br>58,2 % |

Signification des symboles affectés aux générations :

$P_B$ = parent *V. Berlandieri*.
$R_B$ = rétrocroisement par *V. Berlandieri*.
$R_V$ = rétrocroisement par *V. vinifera*.
$R_{V_2}$ = deuxième rétrocroisement par *V. vinifera*.

TABLEAU I (suite)

| Descendances | Générations | Classes de résistance 0 | Classes de résistance 1 | Classes de sensibilité 2 | Classes de sensibilité 3 |
|---|---|---|---|---|---|
| *41 B* × *V. vinifera Aramon* ..... | $R_V$ | 11<br>2,9 % | 34<br>9,1 % | 101<br>27,0 % | 227<br>60,8 % |
| *41 B* × *V. vinifera Cinsaut* ..... | $R_V$ | 5<br>3,0 % | 10<br>6,1 % | 42<br>25,7 % | 106<br>65,0 % |
| *41 B* × *V. vinifera Maccabeu* ..... | $R_V$ | 6<br>4,0 % | 18<br>12,2 % | 25<br>17,0 % | 98<br>66,6 % |
| *V. vinifera Montuonico* × *333 E. M.* | $R_V$ | | | | 20<br>100 % |
| *354-5-6* × *V. vinifera Cinsaut* ..... | $R_{V_2}$ | | 1<br>8,3 % | 2<br>16,6 % | 9<br>75,0 % |
| *354-A-N-2* × *V. vinifera Cinsaut* .. | $R_{V_2}$ | | 1<br>11,1 % | 2<br>22,2 % | 6<br>66,6 % |

Signification des symboles affectés aux générations :
$P_B$ = parent *V. Berlandieri.*
$R_B$ = rétrocroisement par *V. Berlandieri.*
$R_V$ = rétrocroisement par *V. vinifera.*
$R_{V_2}$ = deuxième rétrocroisement par *V. vinifera.*

*Vitis vinifera* × *Vitis riparia.*

Nous disposons de deux croisements intraspécifiques chez *V. riparia* (classe de résistance 1), de deux générations $F_2$ et de trois croisements de retour : deux avec *V. riparia* et un avec *V. vinifera.*

Les $F_2$ ont été obtenues par autofécondation de deux plantes $F_1$ :

— *Baco 1* issu du croisement *V. vinifera* var. *Folle Blanche* × *V. riparia* et dont la résistance au phylloxéra d'après notre notation en serre est 3.

— *595 Oberlin* issu du croisement *V. vinifera* var. *Gamay* × *V. riparia* et dont la résistance au phylloxéra d'après notre notation en serre est 3.

Ces mêmes variétés ont été également mises en œuvre dans les croisements de retour.

La répartition en classes de résistance et de sensibilité des sept descendances soumises à l'action du phylloxéra est donnée dans le tableau 2.

L'ensemble des résultats du tableau 2 montre que la résistance au phylloxéra radicicole dépend dans ce cas également de plusieurs gènes et pour ce croisement

interspécifique les facteurs de *sensibilité sont en grande partie dominants sur les facteurs de résistance*. C'est pour cette raison qu'aucun porte-greffe valable *Riparia-Vinifera* n'a été utilisé sur une grande échelle dans le monde. Seules quelques plantes $F_1$ de ce type de croisement interspécifique ont été employées en Allemagne, c'est-à-dire dans des régions où le phylloxéra n'est pas très virulent.

Dans le tableau 2 on peut voir qu'il n'y a pas de différence entre les deux croisements de *Riparia*, et entre le comportement du *595 Oberlin* et du *Baco 1*, tant en $F_2$ que dans les croisements de retour.

TABLEAU 2

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. vinifera × V. riparia

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| *V. riparia Messner n° 13* × *V. riparia Gloire de Montpellier* .. | $P_R$ | 8<br>2,6 % | 289<br>97,3 % | | |
| *V. riparia n° 2* × *V. riparia Gloire de Montpellier* .. | $P_R$ | 11<br>3,8 % | 275<br>96,1 % | | |
| Autofécondation de *Baco 1*..... | $F_2$ | | 1<br>0,6 % | 39<br>24,5 % | 119<br>74,8 % |
| Autofécondation de *595 Oberlin* .... | $F_2$ | | 12<br>1,7 % | 129<br>18,5 % | 565<br>79,7 % |
| *Baco 1* × *V. riparia Gloire de Montpellier*... | $R_R$ | | 25<br>14,3 % | 131<br>75,2 % | 18<br>10,3 % |
| *595 O.* × *V. riparia Gloire de Montpellier*... | $R_R$ | 1<br>0,3 % | 26<br>9,8 % | 192<br>72,7 % | 45<br>17,0 % |
| *V. vinifera Montuonico* × *595 O.* .. | $R_V$ | | | | 42<br>100 % |

Signification des symboles affectés aux générations :

$P_R$ = parent *V. riparia*.
$R_R$ = rétrocroisement par *V. riparia*.

*Vitis vinifera* × *Vitis rupestris*.

Dans ce cas nous disposons de deux croisements intraspécifiques de *V. rupestris*, deux $F_1$, une $F_2$ et trois croisements de retour.

Signalons que le *Rupestris du Lot* est de la classe de résistance 1, de même que *Rupestris de Fort Worth n° 1* et *Rupestris Martin*.

La variété $F_1$ *1202 Couderc* issue du croisement *V. vinifera Mourvèdre* × *V. rupestris Martin* fut utilisée comme porte-greffe puis abandonnée parce qu'insuffisamment résistante au phylloxéra. Elle a été notée 2 en serre.

La répartition en classes de résistance et de sensibilité des sept descendances soumises à l'action du phylloxéra est donnée dans le tableau 3.

TABLEAU 3

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. vinifera × V. rupestris

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| *V. rupestris de Serres* × *V. rupestris du Lot* ..... | $P_R$ | | 234<br>79,5 % | 60<br>20,5 % | |
| *V. rupestris de Fort Worth n° 1* × *V. rupestris du Lot* ..... | $F_R$ | | 272<br>91,8 % | 24<br>8,1 % | |
| *V. vinifera Mourvèdre* × *V. rupestris du Lot* ..... | $F_1$ | | | | 18<br>100 % |
| *V. vinifera Chasselas* × *V. rupestris du Lot* ..... | $F_1$ | | | 1<br>9,0 % | 10<br>90,9 % |
| Autofécondation de *1 202 C* ..... | $F_2$ | | 14<br>4,3 % | 135<br>42,1 % | 171<br>53,4 % |
| *1 202 C* × *V. rupestris Martin* .... | $R_R$ | | 8<br>50,0 % | 5<br>31,2 % | 3<br>18,7 % |
| *V. vinifera Mourvèdre* × *1 202 C* .. | $R_V$ | | 1<br>1,7 % | 25<br>44,6 % | 30<br>53,5 % |

Signification des symboles affectés aux générations :

$P_R$ = parent *V. rupestris*.
$R_R$ = rétrocroisement par *V. rupestris*.
$R_V$ = rétrocroisement par *V. vinifera*.

Dans le cadre de ce croisement interspécifique on peut faire des remarques analogues à celles effectuées pour le croisement *V. vinifera* × *V. riparia*. *La résistance dépend de plusieurs gènes.*

*Il y a une nette dominance de la sensibilité.* On constate qu'en $F_1$ on n'obtient pas facilement de plantes intermédiaires du point de vue sensibilité entre le *V. rupestris* et le *V. vinifera* : presque tout est très sensible. Il faut reconnaître que le *1202 C* est certainement ce qui peut être obtenu de plus résistant à cette génération. D'après ces résultats on comprend dans ce cas également pourquoi il n'est pas sorti de ce type de croisement des porte-greffes qui ont résisté à une longue expérimentation.

*Vitis vinifera* × *Vitis cordifolia.*

Nous disposons de deux croisements intraspécifiques de *V. cordifolia*, d'une $F_2$ et de deux croisements de retour.

La résistance des variétés de *V. cordifolia* est 1, celle de la $F_1$ *98-76 Couderc* est 2.

La répartition en classes de résistance et de sensibilité des cinq descendances soumises à l'action du phylloxéra est donnée dans le tableau 4.

TABLEAU 4

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. vinifera × V. cordifolia

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| *V. cordifolia* n° 9 × *V. cordifolia Las Sorres* ..... | Pc | 67<br>22,0 % | 233<br>76,6 % | 4<br>1,3 % | |
| *V. Cordifolia A* × *V. cordifolia Las Sorres* ..... | Pc | 30<br>10,1 % | 259<br>87,5 % | 7<br>2,3 % | |
| Autofécondation de *98-76 C* ..... | $F_2$ | 5<br>1,2 % | 18<br>4,3 % | 96<br>23,1 % | 295<br>71,2 % |
| *V. cordifolia A* × *98-76 C* ..... | Rc | 26<br>15,6 % | 110<br>66,2 % | 30<br>18,0 % | |
| *98-76 C* × *V. vinifera Carignan* ... | Rv | | 4<br>3,2 % | 28<br>22,7 % | 91<br>73,9 % |

Signification des symboles affectés aux générations :

Pc = parent *V. cordifolia.*
Rc = rétrocroisement par *V. cordifolia.*
Rv = rétrocroisement par *V. vinifera.*

D'après les résultats on peut voir que *V. cordifolia* à moins de facteurs de résistance que *V. Berlandieri.*

Dans la $F_2$ et les croisements de retour avec *V. vinifera* il apparaît surtout un phénomène de *dominance partielle de la sensibilité.*

*Vitis vinifera* × *Vitis cinerea.*

Pour ce type de croisement nous disposons de quatre $F_1$ seulement. *V. cinerea* a été peu utilisé dans les croisements effectués par les sélectionneurs sûrement parce que c'est une espèce qui fleurit très tard, après toutes les autres, aussi n'avons-nous pu obtenir de $F_2$, ni de croisements de retour.

D'une manière générale *V. cinerea* est de la classe de résistance 1 en serre.

La répartition en classes de résistance et de sensibilité des quatre descendances soumises à l'action du phylloxéra est donnée dans le tableau 5.

TABLEAU 5

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. vinifera × V. cinerea

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| *V. vinifera Carignan* × *V. cinerea Couderc* | $F_1$ | | 1<br>7,1 % | 10<br>71,4 % | 3<br>21,4 % |
| *V. vinifera Murette* × *V. cinerea Couderc* | $F_1$ | | 44<br>18,1 % | 155<br>64,0 % | 43<br>17,7 % |
| *V. vinifera Grenache* × *V. cinerea canescens* | $F_1$ | 1<br>8,3 % | 5<br>41,6 % | 6<br>50,0 % | |
| *V. vinifera Carignan* × *V. cinerea Arnold* | $F_1$ | 2<br>4,2 % | 4<br>8,5 % | 39<br>82,9 % | 2<br>4,2 % |

Dans le cas de ce croisement la résistance paraît également plurifactorielle, la dispersion entre classes de résistance et sensibilité est importante et il apparaît notamment des phénomènes de *dominance partielle de la résistance* au phylloxéra radicicole. On retrouve là ce que nous avons vu très nettement chez *V. Berlandieri*. Mais comme nous l'avons déjà fait remarquer (BOUBALS, 1966) *V. cinerea* var. *Arnold* ne présente pas d'immunité au phylloxéra des racines comme l'avait dit BECKER (1960). Nos résultats sont en accord avec ceux de SCHILDER (1947).

*Vitis vinifera* × *Vitis Labrusca.*

Nous ne disposons que d'un petit nombre de résultats car l'étude de ce croisement n'offre pas beaucoup d'intérêt, *V. Labrusca* ayant beaucoup de ses variétés qui sont peu résistantes au phylloxéra.

Nous avons inoculé des descendants d'autofécondations de *Concord*, apparemment *V. Labrusca* pur (classe de résistance 1 en serre), d'*Isabelle* (classe 3) et de la F1 *Vinifera* × *Labrusca Triumph* (classe 2).

La répartition en classes de résistance et de sensibilité des trois descendances soumises à l'action du phylloxéra est donnée dans le tableau 6.

Nous pouvons voir que la variété *Concord* est très hétérozygote puisqu'elle donne en autofécondation des descendants résistants et des descendants sensibles et très sensibles.

L'autofécondation de la variété *Triumph* montre qu'il y a probablement une certaine dominance partielle des gènes de sensibilité.

Enfin l'autofécondation de la variété *Isabelle* donne des résultats très voisins de la précédente, ce qui confirme encore une fois que l'*Isabelle* n'est pas une variété pure de *V. Labrusca*, mais bien un descendant de croisement entre cette espèce et *V. vinifera*. Nous avions été amené à faire une hypothèse analogue lors de nos recherches sur le mode de transmission héréditaire de la réaction nécrotique au stomate provoquée par les zoospores de *Plasmopara viticola* quand elles pénètrent dans les feuilles (BOUBALS, 1959).

TABLEAU 6

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. vinifera × V. Labrusca

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| Autofécondation de *V. Labrusca* var. *Concord* | $P_L$ | 1 | 1 | 1 | 2 |
| Autofécondation d'*Isabelle* | $F_2$ | 1<br>5,8 % | | 3<br>17,6 % | 13<br>76,4 % |
| Autofécondation de *Triumph* | $F_2$ | | 1<br>1,6 % | 8<br>13,3 % | 51<br>85,0 % |

Signification des symboles affectés aux générations : $P_L$ = parent *V. Labrusca*.

*Vitis vinifera* × *Vitis candicans.*

La répartition en classes de résistance et de sensibilité des trois descendances soumises à l'action du phylloxéra radicicole est donnée dans le tableau 7.

Rappelons que *V. candicans* A est de la classe de résistance 1 et que *V. candicans* B est de la classe 2.

*V. candicans* n'a pas beaucoup de facteurs de résistance.

*Vitis vinifera* × *Vitis monticola.*

*V. monticola* est une espèce assez sensible au phylloxéra (classes 2-3), aussi n'avons nous pas insisté sur elle dans notre étude.

La répartition en classes de résistance et de sensibilité des trois descendances soumises à l'action du phylloxéra radicicole est donnée dans le tableau 8.

*V. monticola* paraît avoir dans son patrimoine héréditaire de nombreux facteurs de sensibilité. Croisé avec *V. vinifera* il ne donne pour cette raison que des plantes sensibles.

*Vitis rubra* × *Vitis vinifera.*

*V. rubra* ne se bouturant pratiquement pas, nous n'avons pas pu déterminer sa résistance au phylloxéra radicicole en serre.

TABLEAU 7

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. vinifera × V. candicans

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| *V. candicans B* × *V. candicans A* . | $P_C$ | | 108<br>81,2 % | 25<br>18,7 % | |
| Autofécondation de *V. candicans* fertile | $P_C$ | | 29<br>34,1 % | 35<br>41,1 % | 21<br>24,7 % |
| *V. vinifera Grenache* × *V. candicans A* ..... | $F_1$ | | | | 4 |

Signification des symboles affectés aux générations : $P_C$ = parent *V. candicans*.

TABLEAU 8

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. vinifera × V. monticola

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| *V. monticola large bell I A-57* × *V. monticola I B-57* ..... | $P_M$ | | 24<br>14,7 % | 68<br>41,7 % | 71<br>43,5 % |
| *V. monticola large bell I A-58* × *V. monticola I B-57*..... | $P_M$ | | 15<br>23,4 % | 29<br>45,3 % | 20<br>31,2 % |
| *V. vinifera Grenache* × *V. monticola n° 1* ..... | $F_1$ | | | | 3 |

Signification des symboles affectés aux générations : $P_M$ = parent *V. monticola*.

Nous disposons des résultats de l'inoculation de deux $F_1$. Ils figurent dans le tableau 9.

On constate une grande dispersion des descendants $F_1$, dispersion très différente pour les deux croisements. Dans les deux croisements c'est la même variété de *V. rubra* qui a été utilisée. Il n'est pas possible de mettre sur le compte d'autofécondations accidentellement intervenues lors de la réalisation de l'hybridation les différences de répartition entre les deux croisements. En effet c'est le *V. rubra* qui a été pris comme géniteur femelle et ses fleurs ont des étamines dont le pollen est stérile. C'est le seul cas que nous ayons rencontré où, selon la variété de *V. vinifera* qui intervient dans le croisement avec une plante résistante au phylloxéra, on a une répartition très différente entre les diverses classes de résistance et de sensibilité.

TABLEAU 9

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. rubra × V. vinifera

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| *V. rubra* × *V. vinifera Carignan* ... | $F_1$ | | 2<br>4,8 % | 3<br>7,2 % | 36<br>87,8 % |
| *V. rubra* × *V. vinifera Pinot franc* . | $F_1$ | 1<br>4,3 % | 10<br>43,4 % | 7<br>30,3 % | 5<br>21,7 % |

Nous avons vu par ailleurs (BOUBALS, 1959) que ces deux croisements s'étaient comportés fort différemment en ce qui concerne la transmission héréditaire de la résistance au Mildiou (*Plasmopara viticola*). Le croisement qui a donné la plus grande proportion de plants résistants au phylloxéra est également celui qui a donné la proportion la plus élevée de plants résistants au Mildiou. Il semble y avoir dans ce cas une certaine corrélation entre les deux sensibilités, les plants les plus sensibles au Mildiou étant également les plus sensibles au phylloxéra.

*Vitis vinifera* × *Vitis Arizonica.*

*V. Arizonica* est une espèce américaine aussi sensible au phylloxéra radicicole que *V. vinifera* (classe 3).

Le croisement *V. vinifera* × *V. Arizonica* ne nous a donné en $F_1$ que des plantes très sensibles également (classe 3).

*Vitis vinifera* × *Vitis rotundifolia.*

Nous avons vu précédemment que *V. rotundifolia* est de la classe 0 sans nodosités. Il est doté d'une très grande résistance qui est très proche de l'immunité complète (BOUBALS, 1966).

Cette espèce du sous-genre des *Muscadiniae* est très difficile à croiser avec les espèces du genre *Vitis*, *V. vinifera* en particulier.

Nous n'avons pu inoculer par le phylloxéra radicicole qu'un *Vinifera* × *Rotundifolia* $F_1$ obtenu aux États-Unis. Il a présenté des tubérosités et a été classé 2.

Dans un travail récent et fort intéressant DAVIDIS et OLMO (1964) ont donné des résultats fragmentaires de transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre de ce croisement. Comme ils sont les seuls à notre connaissance qui concernent ce croisement interspécifique ils méritent qu'on les examine avec attention.

Les auteurs précédents ont choisi *au hasard* dans deux croisements *V. vinifera* × *V. rotundifolia* un nombre réduit de descendants qu'ils ont inoculés dans des bacs de terre placés en serre, à l'aide de phylloxéra radicicole prélevé dans le vignoble de Californie.

Sept mois après l'inoculation par le phylloxéra les racines des plants ont été examinées. Il a été mesuré leur longueur, compté le nombre de tubérosités et le nombre de nodosités que l'on a exprimé pour 100 cm de longueur de racines. En ce qui concerne les tubérosités on peut dire que cette notation revient à peu de chose près à celle que nous effectuons en serre depuis 1960. A ce sujet on peut estimer que lorsque DAVIDIS et OLMO (1964) disent :

— qu'un plant présente 0 tubérosités pour 100 cm de racines cela correspond à notre classe 0.

— qu'un plant présente 1 à 2 tubérosités pour 100 cm ce racines celacorrespond à notre classe 1.

— qu'un plant présente de 3 à 50 tubérosités pour 100 cm de racines cela correspond à peu de chose près à notre classe 2 ;

— qu'un plant présente plus de 50 tubérosités pour 100 cm de racines cela correspond à peu de chose près à notre classe 3.

Dans les expériences de DAVIDIS et OLMO il a été trouvé les nombres de tubérosités suivants sur les variétés de *V. vinifera* : *Sultanine* 139 — *Flame Tokay* 87,8 — *Hunisa* 68,5, toujours pour 100 cm de longueur de racines.

Finalement les plants $F_1$ *Vinifera* × *Rotundifolia* testés par les auteurs précédents se répartissent comme suit. Dans le croisement : *V. vinifera Almeria* × *V. rotundifolia* n° 3 :

— Six plants correspondent à la classe 0 de notre notation en serre ; quatre d'entre eux ne présentaient pas non plus de nodosités, c'est-à-dire avaient un comportement identique à *V. rotundifolia*.

— Deux plants correspondent à la classe 1 de notre notation en serre.

— Un plant correspond à la classe 3 de notre notation en serre, c'est à dire à la sensibilité de *V. vinifera*.

Dans le croisement : *V. vinifera Hunisa* × *V. rotundifolia n° 3* :

— Douze plants correspondent à la classe 1 de notre notation en serre. Deux d'entre eux ne présentaient pas non plus de nodosités, c'est à dire correspondaient au type de résistance de *V. rotundifolia*.

— Six plants correspondent à notre classe 2.

Dans des expériences supplémentaires DAVIDIS et OLMO (1964) ont simplement compté le nombre de colonies de phylloxéra observées sur les racines après une inoculation réalisée selon la méthode mise au point par RAVAZ (1897). Quatre degrés

de pullulation ont été notés : pas d'insectes (0), peu de colonies (1), beaucoup de colonies (2), insectes abondants (3). *V. rotundifolia* n'avait pas de phylloxéra sur ses racines et *V. vinifera* avait des phylloxéras abondants. Pour des plants pris au hasard dans deux croisements la répartition a été la suivante :

*V. vinifera Hunisa* × *V. rotundifolia* nº 2 :
0 : 2 plants ; 1 : 3 plants ; 2 : 1 plant.
*V. vinifera Hunisa* × *V. rotundifolia* nº 3 :
0 : 3 plants ; 1 : 1 plant ; 2 : 1 plant ; 3 : 2 plants.

Davidis et Olmo ont également étudié la résistance au phylloxéra radicicole dans le cas du recroisement d'un *Vinifera Rotundifolia* (*N 53-8*) par une variété de *V. vinifera* tétraploïde : la *Sultanine 4n*. La répartition des plants a été la suivante :

— trois plants ont eu des racines sans tubérosités, mais avec des nodosités c'est-à-dire ont présenté une résistance du type 1 de notre notation en serre ;

— un plant a eu des racines avec 4 tubérosités pour 100 cm de racines et des nodosités, c'est à dire a montré une résistance du type 2 de notre notation en serre.

De leurs observations les deux auteurs précédents ont conclu que dans le croisement interspécifique *Vinifera* × *Rotundifolia* il y avait une certaine dominance de la résistance de *V. rotundifolia* et que plus d'un seul gène majeur était en jeu. De plus le fait que les semis issus du recroisement (*Vinifera-Rotundifolia*) × *Vinifera 4n*, plants de semis tétraploïdes avec un seul genome de *V. rotundifolia* à côté de trois genomes de *V. vinifera*, aient encore une résistance phylloxérique élevée indique que la contribution de *V. rotundifolia* pour ce caractère présente un degré élevé de dominance.

Les résultats trouvés par Davidis et Olmo s'insèrent très bien dans la série de résultats que nous avons obtenus au cours de notre étude. Parmi les espèces dont nous avons étudié les descendants de croisements avec *V. vinifera* c'est *V. Berlandieri* qui a le comportement le plus voisin de celui de *V. rotundifolia*. C'est après lui l'espèce qui paraît avoir le plus de facteurs de résistance dans son patrimoine héréditaire.

De plus nous pouvons remarquer que la manifestation de la résistance chez les descendants de *Vinifera* × *Rotundifolia* se comprend très bien grâce aux résultats des recherches que nous avons effectuées par ailleurs (Boubals, 1966) sur les causes de la résistance au phylloxéra radicicole. A cette occasion on se rend compte encore une fois que ce caractère forme un tout cohérent dans l'ensemble de la famille des Vitacées.

## II. — *Croisements entre espèces américaines résistantes*

*Vitis riparia* × *Vitis rupestris*.

La répartition entre classes de résistance et de sensibilité de descendants de croisements intraspécifiques de *V. riparia* et *V. rupestris* sont donnés dans les tableaux 2 et 3.

Dans le tableau 10 nous donnons seulement les résultats de l'inoculation par le phylloxéra d'une descendance $F_2$, dont les clones $F_1$ qui ont permis de l'obtenir appartiennent à la classe de résistance 1. Ils sont issus du croisement : *Riparia Z Couderc* × *Rupestris Martin* dont les géniteurs sont également de résistance 1.

Les inoculations de cette descendance ont été faites deux ans de suite sur des boutures, à raison de six par plante $F_2$.

D'après les résultats du tableau 10 on voit que plus de la moitié des descendants $F_2$ ont été notés plus sensibles que les parents ayant permis d'obtenir les $F_1$. On peut donc penser qu'il y a des gènes de sensibilité au moins chez *V. rupestris*.

TABLEAU 10

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. riparia × V. rupestris

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| *3307 C.* × *3309 C* ..... | $F_2$ | | 8<br>40,0 % | 11<br>55,0 % | 1<br>5,0 % |

*Vitis Berlandieri* × *Vitis rupestris*.

La répartition entre classes de résistance et de sensibilité de descendants de croisements intraspécifiques de *V. Berlandieri* et *V. rupestris* sont donnés dans les tableaux 1 et 3.

Dans le tableau 11 nous donnons les résultats de l'inoculation de deux $F_2$. Les clones $F_1$ qui ont permis de les obtenir avaient la résistance suivante : *57 Richter* : 1, *99 Richter* : 1, *20029 Castel* : 2.

La composition génétique de deux $F_1$ est connue : *57 R* = *Berlandieri Rességuier n° 1* (1) × *Rupestris Martin* (1) ; *99 R* = *Berlandieri Las Sorres* (1) × *Rupestris du Lot* (1).

TABLEAU 11

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. Berlandieri × V. rupestris

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| *57 R* × *99 R* ..... | $F_2$ | 108<br>33,9 % | 170<br>53,4 % | 40<br>12,5 % | |
| Autofécondation de *20 029 Castel* ... | $F_2$ | | 10<br>26,3 % | 14<br>36,8 % | 14<br>36,8 % |

Nous avons vu plus haut que parmi les espèces de *Vitis* que nous avons étudiées, *V. rotundifolia* mis à part, *V. Berlandieri* était celle qui avait le plus de gènes de résistance dans son patrimoine héréditaire. Les résultats du tableau 11 permettent donc de penser que *V. rupestris* au contraire renferme un nombre non négligeable de gènes de sensibilité dans son patrimoine.

*Vitis Berlandieri* × *Vitis riparia.*

La répartition entre classes de résistance et de sensibilité de descendants de croisements intraspécifiques de *V. Berlandieri* et *V. riparia* sont donnés dans les tableaux 1 et 2.

Dans le tableau 12 sont donnés les résultats de l'inoculation par le phylloxéra d'une $F_2$ issue du croisement entre deux $F_1$ *Riparia-Berlandieri* : *161-49 Couderc* (classe de résistance 1) et le *420 A* (classe 0).

TABLEAU 12

*Transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du croisement* V. Berlandieri × V. riparia

| Descendances | Générations | Classes de résistance | | Classes de sensibilité | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 |
| *161-49 C* × *420 A* ..... | $F_2$ | 23<br>17,5 % | 86<br>65,6 % | 22<br>16,7 % | |

On voit également que dans le cas de ce croisement un certain nombre de descendants présentent une légère sensibilité. Il y a bien une hétérozygotie pour les gènes de résistance chez les espèces *V. Berlandieri* et *V. riparia.*

## CONCLUSION

Les observations que nous avons effectuées en ce qui concerne la transmission héréditaire de la résistance au phylloxéra radicicole dans le cadre du genre *Vitis* permettent de conclure que ce caractère est sous la dépendance de *plusieurs gènes* dont le nombre est difficile à déterminer.

Chez les espèces de *Vitis* plus ou moins résistantes à l'insecte il y a une certaine hétérozygotie des gènes conditionnant la résistance, ce qui se traduit par une dispersion notable de la résistance et de la sensibilité entre les descendants des croisements intraspécifiques. Par contre, l'espèce *V. vinifera* paraît homozygote pour ses gènes de sensibilité.

En ce qui concerne les relations entre les gènes conditionnant le caractère que nous avons étudié, nous avons vu qu'il apparaissait des phénomènes de *dominance partielle de la résistance* dans les croisements entre : d'une part *V. vinifera* et d'autre part *V. rotundifolia, V. Berlandieri, V. cinerea* et *V. rubra.*

Ces espèces sont d'ailleurs celles qui présentent le plus de résistance au phylloxéra radicicole et plus particulièrement celles chez lesquelles le phénomène de répulsion des racines à l'égard de l'insecte est le plus net (BOUBALS, 1966).

Par contre,nous avons vu qu'il se manifestait des phénomènes de dominance partielle de la sensibilité dans les croisements entre : d'une part *V. vinifera* et d'autre part *V. riparia, V. rupestris, V. Labrusca, V. monticola, V. cordifolia, V. candicans.*

Parmi ces espèces, certaines ont une bonne résistance phylloxérique pratique, tandis que d'autres sont assez sensibles. Toutes ont des racines assez peu répulsives à l'égard du phylloxéra.

Il se peut qu'il y ait une liaison entre ces différences de relations entre les gènes et l'intervention d'une cause de résistance différente ou supplémentaire. De toute façon on notera que le spectre de la résistance au phylloxéra radicicole que nous avons obtenu dans la famille des Vitacées (BOUBALS, 1966) se superpose parfaitement à celui des modalités de la transmission héréditaire de ce caractère.

Les résultats obtenus dans notre travail peuvent servir de bases pour les recherches d'amélioration de la vigne. Les idées principales qu'on peut en retirer à ce point de vue sont les suivantes.

Nous pensons que si on se donne pour objectif l'obtention de variétés de *V. vinifera* résistantes au phylloxéra radicicole on recherche un but à peu près impossible à atteindre car nous avons vu que dans cette espèce les facteurs de résistance sont pratiquement inexistants.

On pourra viser à créer des hybrides interspécifiques « producteurs directs » idéaux c'est à dire présentant non seulement une résistance phylloxérique telle qu'il ne sera pas nécessaire de les greffer, mais en plus une résistance au Mildiou et à l'Oïdium qui évitera tout traitement fongicide, sans oublier bien sûr une qualité parfaite du vin. Maintenant que nous connaissons bien le mode de transmission héréditaire de la résistance à l'insecte et aux deux champignons précédents, nous pouvons dire que le type de croisement le plus intéressant à mettre en œuvre est *V. vinifera* × *V. rotundifolia.* En effet, dans le genre *Vitis* c'est la seule espèce qui présente le maximum de résistance aux parasites de la vigne. Nous avons bien vu que *V. Berlandieri* est une des espèces les plus résistantes au phylloxéra, malheureusement sa résistance au Mildiou n'est pas très élevée et des recroisements successifs avec *V. vinifera,* s'ils peuvent encore permettre d'obtenir une bonne résistance au phylloxéra radicicole, n'assurent pratiquement plus de résistance au Mildiou (BOUBALS, 1959).

A côté de ces objectifs élevés de recherche il en reste de plus faciles à atteindre et qui ne doivent pas être négligés. Il s'agit de l'amélioration de la résistance phylloxérique de porte-greffes actuels. Il ne se pose apparemment qu'un problème important.

C'est celui des portes-greffes *Vinifera-Berlandieri,* c'est-à-dire ceux qui sont les plus résistants à l'excès de carbonate de chaux dans le sol. Nous avons noté (BOUBALS, 1966) que dans certaines conditions des vignobles à sol calcaire des Charentes le *41 B* n'était pas suffisamment résistant au phylloxéra radicicole (LAFON et *al.*, 1960). Il est actuellement nécessaire de trouver des plantes ayant une résis-

tance supérieure à la sienne, soit dans des $F_1$ *V. vinifera* × *V. Berlandieri*, soit dans des recroisements de ces $F_1$ avec *V. Berlandieri*. Dans ce dernier cas il ne sera pas difficile d'obtenir des types résistants au phylloxéra et au calcaire mais il ne faut pas perdre de vue qu'il faudra opérer en même temps une sélection pour la bonne reprise au bouturage et pour une production par les pieds-mères de boutures greffables de diamètre suffisant. En effet le recroisement avec *V. Berlandieri* va rapprocher de la physiologie et du faciès végétatif de cette espèce.

Il est possible également que l'objectif précédent puisse être atteint par des recroisements (*V. riparia* × *V. Berlandieri*) × *V. Berlandieri*. En effet, ce croisement interspécifique a donné des plantes $F_1$ dont la résistance au calcaire est élevée (*161-49 C.*).

Contrairement aux cas précédents nous pensons que cet objectif d'amélioration de certains porte-greffes peut être atteint rapidement.

*Reçu pour publication en juillet* 1966.

## SUMMARY

INHERITANCE OF RESISTANCE TO RADICICOLOUS PHYLLOXERA IN THE VINE

In the genus *Vitis*, resistance to radicicolous phylloxera is controlled by several genes. While *V. vinifera* seems to be homozygous for sensitivity, the resistant species show a certain heterozygosity for resistance.

In the crossings between *V. vinifera* and resistant species, phenomena of partial dominance appear, either of resistance or of sensitivity.

The species whose roots have a repulsion effect of phylloxera and in which resistance seems to be dominant are *V. rotundifolia*, *V. Berlandieri*, *V. Cinerea* and *V. rubra*.

The article contains supplementary principles for work on vine improvement.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BECKER H., 1960. Untersuchungen an hochresistenten Unterlagen. *Weinbau und Keller*, **7**, 291-300.

BOUBALS D., 1956. Amélioration de la résistance de la vigne au Mildiou (*Plasmopara viticola* (B. et C.) BERLESE et DE TONI). Recherche de géniteurs de résistance. *Ann. Amélior. Plantes*, **4**, 481-525.

BOUBALS D., 1959. Contribution à l'étude des causes de la résistance des Vitacées au Mildiou de la Vigne (*Plasmopara viticola* (B. et C.) BERLESE et DE TONI) et de leur mode de transmission héréditaire. Thèse de doctorat ès sciences. *Ann. Amélior. Plantes*, **9** (1), 1-233.

BOUBALS D., 1961. Étude des causes de la résistance des Vitacées à l'Oïdium de la vigne *Uncinula necator*, (SCHW.) BURR. et de leur mode de transmission héréditaire. *Ann. Amélior. Plantes*, **11** (4), 401-500.

BOUBALS D., 1966. Étude de la distribution et des causes de la résistance au phylloxéra radicicole chez les Vitacées. *Ann. Amélior. Plantes*, **16**, (2), 145-184.

BREIDER H., 1939. Untersuchungen zur vererbung der Widerstandsfähigkeit von Weinreben gegen die Reblaus. *Z. Pflanzenzücht* **32**, 4, 1.

BREIDER H., 1939. Morphologisch, anatomische Merkmale der Rebenblätter als Resistenzeingenschaften gegen die Reblaus *Phylloxera vastatrix* PLANCH. *Züchter*, **11**, 8.

BREIDER H., 1955. Résistance au phylloxéra et obtention de vignes résistantes. *Bull. O. I. V.*, **294**, 81-82.

DAVIDIS U. X., OLMO H. P., 1964. The *Vitis vinifera* × *V. rotundifolia* hybrids as phylloxera resistant rootstocks. *Vitis*, **4**, 2, 129-143.

LAFON J., COUILLAUD P., HUDE P., 1960. *Maladies et parasites de la vigne*. T. II, p. 14, J. B. Baillère Paris.

LEVADOUX L., 1951. La sélection et l'hybridation chez la vigne. *Ann. Éc. nation. sup. agron. Montpellier*, **28**, 3-4, 165-358.

MAILLET P., 1957. Contribution à l'étude de la biologie du phylloxéra de la vigne. *Ann. Sci. nat. Zool.*, **29**, 283-404.

PRINTZ I. I., KISKIN P. K., 1951. Culture de variétés de vignes résistantes au phylloxéra et de haute qualité (en russe). *Acad. Sci. Moldavie*, Kichinev (S.S.R.), *Inst. Zool.* Phylloxéra et moyens de lutte. Publication I, 82-96.

RASMUSON, 1914. Inheritance in *Vitis*. *Mitt. Biol. Anst. Berl.*, 28-34.

SCHILDER F. A., 1947. Perspectives de la lutte contre le phylloxéra par la sélection de la vigne. *Nachrbl. dtsch. Pflanzschutzdienst*, **1**, 104-5.

VAVILOV N. I., 1951. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. *Chron. Bot.*, **13**, 1, 6, 140-144.

*Ann. Amélior. Plantes*, 1966, **16** (4), 349-365.

# CONTRIBUTION A L'INTERPRÉTATION DES ESSAIS DE PORTE-GREFFES DU POIRIER

C. BRIAN

*Station de Recherches d'Arboriculture fruitière, 49 - Angers*

SOMMAIRE

La plus ou moins bonne affinité de la combinaison Cognassier-Poirier entraîne, dans les essais de porte-greffes, une importante hétérogénéité des variances qui nécessite l'emploi de méthodes d'interprétation particulières. Cet aspect est discuté à partir des résultats obtenus dans divers vergers expérimentaux implantés par la Station d'Angers.

## I. — INTRODUCTION

A la suite des travaux de classification botanique et de pré-sélection effectués à la Station d'Arboriculture d'Angers par J. Brossier (1965) sur les cognassiers utilisés comme porte-greffes pour le Poirier, un certain nombre de clones ont présenté des caractéristiques agronomiques assez intéressantes pour qu'une étude de leur comportement en verger, avec diverses variétés de Poirier, soit entreprise.

Les clones présentant la meilleure aptitude à la multiplication végétative (bouturage et marcottage) et la meilleure reprise à l'écussonnage ont donc été mis en essais comparatifs avec différentes variétés de Poirier. Pour commencer, ces essais ont été implantés sur les domaines de la Station, puis chez un certain nombre d'arboriculteurs qui ont bien voulu accepter de participer à l'effort d'amélioration entrepris par la Station d'Angers, ce qui a autorisé une expérimentation à plus grande échelle.

Les résultats fournis par les tests de pré-sélection et par les essais préliminaires de la Station, ainsi que les premières informations tirées des vergers extérieurs, ont permis de mettre à la disposition des arboriculteurs un clone de Cognassier de Provence, le *C. 29*, conférant une vigueur élevée et dont le comportement avec les variétés de Poirier les plus cultivées est très satisfaisant, sans aucun doute, meilleur que celui des mélanges de clones commercialisés habituellement.

L'enregistrement et l'étude des données que fournissent les essais implantés chez les arboriculteurs se poursuivent en accordant une importance particulière à la vigueur des arbres (mesurée par la circonférence des troncs), la précocité de mise à fruits, et l'aptitude à produire. Seul, le premier de ces caractères a pu faire l'objet d'un examen approfondi dans les quinze essais considérés ici car, plantés en 1959 (sauf un en 1958), ils sont entrés en production seulement au cours de l'été 1964 ou 1965, suivant les cas.

Ces quinze essais sont répartis dans le Bassin Parisien, l'Ouest et le Sud-Ouest (tabl. 1). Trente-six clones de Cognassier y figurent, les plus intéressants étant testés plus fréquemment, avec quatre variétés de Poirier : *Beurré Hardy* (quatre essais), *Épine du Mas* (trois essais), *Passe-Crassane* (cinq essais), *Williams* (trois essais).

TABLEAU I

*Présentation des essais*

| Essais | Lieu-dit | Dépt | Variété | Forme | Type de taille |
|---|---|---|---|---|---|
| I | Breuil-de-Foussais | 85 | *Passe-Crassane* | Bateau | Peu sévère |
| II | Breuil-de-Foussais | 85 | *Beurré Hardy* | Palmette horizontale | Peu sévère |
| III | Breuil-de-Foussais | 85 | *Épine du Mas* | Bateau | Peu sévère |
| IV | La Bohalle | 49 | *Passe-Crassane* | Palmette oblique | Très sévère |
| V | La Bohalle | 49 | *Beurré Hardy* | Haie Marchand | Peu sévère |
| VI | Les Barthes | 82 | *Passe-Crassane* | Gobelet 3 axes | Peu sévère |
| VII | Les Barthes | 82 | *Épine du Mas* | Gobelet 3 axes | Peu sévère |
| VIII | Les Chabers-Étoile | 26 | *Williams* | Fuseau | Assez sévère |
| IX | Emerainville | 77 | *Williams* | Palmette horizontale | Très sévère |
| X | Vanvillé | 77 | *Passe-Crassane* | Gobelet à centre ouvert | Peu sévère |
| XI | Vanvillé | 77 | *Épine du Mas* | Gobelet à centre ouvert | Peu sévère |
| XII | Moissac | 82 | *Beurré Hardy* | Gobelet 3 axes | Peu sévère |
| XIII | Moissac | 82 | *Williams* | Gobelet 3 axes | Peu sévère |
| XIV | Fontenay-Trésigny | 77 | *Passe-Crassane* | Candélabre | Très sévère |
| XV | Fontenay-Trésigny | 77 | *Beurré Hardy* | Fuseau | Assez sévère |

Le dispositif est classique en expérimentation fruitière : blocs à un seul arbre par parcelle élémentaire avec, en général, dix répétitions de quinze clones.

L'analyse statistique des mesures individuelles de la circonférence des troncs, prise comme critère de vigueur, a mis en évidence certaines caractéristiques du matériel végétal testé. Ces propriétés nécessitent une modification des dispositifs expérimentaux de façon à mieux adapter les méthodes d'interprétation aux problèmes particuliers posés par la différenciation statistique des porte-greffes.

## II. — PREMIÈRES CONSTATATIONS

Les clones de Cognassier mis en essai appartiennent à des groupes botaniques différents. On aurait donc pu s'attendre à trouver des différences de vigueur importantes. Or, quel que soit l'essai, la variété de Poirier ou le critère d'appréciation de

la vigueur (circonférence, accroissement annuel ou cumulé, taux de croissance annuel ou cumulé) que l'on considère, on arrive bien à séparer les deux ou trois clones les moins vigoureux de l'ensemble mais aucune différence significative n'apparaît entre les autres : le carré moyen de l'erreur, toujours très grand, est responsable de ce manque de précision.

On peut expliquer cette variabilité individuelle considérable par trois groupes de facteurs :

. Des facteurs liés à l'implantation de l'essai et à la conduite des arbres : calibrage et choix des individus plantés, taille de formation trop sévère ou très hétérogène, mauvais entretien du verger, etc.

. Des méthodes d'interprétation incorrectes, en fonction des données recueillies.

. Des caractéristiques du matériel végétal lui-même.

Si la première hypothèse a pu être facilement écartée dans le cas des quinze essais considérés, les deux autres ont nécessité un examen soigneux des données et des méthodes d'interprétation qui a mis en évidence leur réalité.

### A. — Nécessité d'une transformation des données

La vigueur induite par un porte-greffe a été appréciée par la circonférence moyenne du tronc des arbres de la combinaison considérée. Cependant, les mesures obtenues ne sont pas directement utilisables. En effet, on constate qu'il y a proportionnalité entre moyenne et carré moyen. Donc une transformation logarithmique des données s'impose (Bartlett, 1948). D'ailleurs, cette transformation est à peu près systématique lorsque l'on travaille sur des circonférences de tronc (Pearce, 1952).

Le tableau 2 montre l'influence de cette transformation. Alors qu'avec des données arithmétiques, la proportionnalité moyenne – carré moyen existe dans le cas :

— d'essais du même âge, mais de vigueur différente,
— de mensurations annuelles successives d'un même essai,

elle disparaît après passage en logarithmes.

On peut même observer une diminution des carrés moyens annuels de chaque essai à partir de la deuxième pousse. Ceci est tout à fait conforme aux résultats obtenus par Pearce et Moore (1962) sur Pommier : avant la période de production, les carrés moyens diminuent régulièrement à condition que l'effet de l'augmentation de la vigueur moyenne ait été corrigé par une transformation logarithmique. Mais alors que, d'après Pearce, cette diminution s'exerce chez le Pommier dès l'année de plantation, chez le Poirier on constate d'abord une nette augmentation au cours des deux premières pousses en verger ; ensuite il y a bien diminution régulière du carré moyen des logarithmes des circonférences jusqu'à l'entrée en production. Pearce attribue la valeur élevée du carré moyen des circonférences initiales au calibrage plus ou moins soigneux des arbres, et surtout aux différences de vitesse d'accroissement consécutives à la plantation. Chez le Poirier ces causes jouent certainement, mais il est possible que l'augmentation de variabilité constatée jusqu'à la

deuxième pousse soit provoquée par une sensibilité plus grande de l'espèce *Pyrus communis* aux perturbations de la croissance dues à la taille de formation.

TABLEAU 2

*Variété* Passe-Crassane
Liaison moyenne-carré moyen et transformation logarithmique

| | Essai | Année de pousse | Moyenne générale | Degrés de liberté | Carré-moyen général |
|---|---|---|---|---|---|
| Données arithmétiques | VI | 4 | 210,76 | 164 | 433,35 |
| | | 5 | 271,32 | 164 | 652,01 |
| | X | 4 | 158,38 | 149 | 313,30 |
| | | 5 | 215,69 | 149 | 541,18 |
| Données logarithmiques | VI | 4 | 2,321 54 | 164 | 0,002 05 |
| | | 5 | 2,431 45 | 164 | 0,001 82 |
| | X | 4 | 2,196 41 | 149 | 0,002 74 |
| | | 5 | 2,346 79 | 149 | 0,002 50 |

Bien qu'indispensable, puisqu'il y a relation de proportionnalité entre moyenne et carré moyen, la transformation logarithmique n'améliore pas beaucoup la précision des essais : le carré moyen de l'erreur conserve une valeur importante. On doit donc rechercher d'autres causes d'imprécision, dont les effets devaient s'ajouter à l'influence de la vigueur sur la variabilité dans les interprétations initiales.

## B. — Étude de la variabilité des traitements

La très grande hétérogénéité de vigueur que présentent certaines combinaisons a conduit à calculer, pour chaque essai, le carré moyen des arbres greffés sur chaque clone. On a constaté que ces carrés moyens clonaux différaient considérablement, quel que soit l'essai considéré. Cette hétérogénéité s'observe aussi bien après transformation des données en logarithmes qu'avec les mensurations en échelle arithmétique (tabl. 3).

Dans tous les essais où il a été appliqué, le test de Bartlett sur les variances clonales a mis en évidence des différences fortement significatives. Par contre, il n'a révélé aucune hétérogénéité des carrés moyens « bloc » (tabl. 4). On est donc amené à conclure que chaque traitement possède une variance spécifique, caractéristique de certaines propriétés biologiques de la combinaison.

Dans ces conditions, l'une des hypothèses fondamentales de l'analyse de variance n'est pas réalisée : il ne peut y avoir homogénéité des variances aléatoires des traitements. Le dispositif adopté sur le terrain (blocs à un seul arbre par parcelle élémentaire) ne permet pas de déterminer de façon statistiquement rigoureuse la variance d'échantillonnage spécifique de chaque combinaison, mais l'étalement des

TABLEAU 3

*Essai VI. Variété* Passe-Crassane
Hétérogénéité des carrés moyens des clones

| Clones de Porte-greffes | Carrés moyens | |
|---|---|---|
| | $s^2$ Données arithmétiques | $s^2 \times 10^5$ Données logarithmiques |
| *C. 110* | 54 | 13 |
| *C. 81-1* | 120 | 17 |
| *C. 16 L 2* | 167 | 49 |
| *C. 29* | 193 | 43 |
| *C. 60-3* | 285 | 64 |
| *C. 120* | 294 | 77 |
| *C. 101* | 307 | 78 |
| *C. 19 L 1* | 362 | 122 |
| *C. 1 R* | 488 | 155 |
| *C. 109-2* | 490 | 130 |
| *C. 98-4* | 500 | 122 |
| *C. 27 L 2* | 628 | 165 |
| *C. 35 L 3* | 674 | 207 |
| *C. 96-8* | 689 | 189 |
| *C. 21 L 4* | 697 | 232 |

10 degrés de liberté pour chaque carré moyen.

TABLEAU 4

*Hétérogénéité des carrés moyens*
Test de BARTLETT
(Variété *Passe-Crassane*, 5e pousse)

| Données | Essai | Degrés de liberté | $\chi^2$ calculé | $\chi^2$ tabulaire | | Signification |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | P = 0,05 | P = 0,01 | |
| a) *Carrés moyens traitement* | | | | | | |
| Arithmétiques | VI | 14 | 29,07 | 23,68 | 29,14 | Significatif |
| | X | 14 | 46,40 | 23,68 | 29,14 | Très significatif |
| Logarithmiques | VI | 14 | 36,71 | 23,68 | 29,14 | Très significatif |
| | X | 14 | 59,45 | 23,68 | 29,14 | Très significatif |
| b) *Carrés moyens bloc* | | | | | | |
| Arithmétiques | VI | 10 | 6,25 | 18,31 | 23,21 | Non significatif |
| | X | 9 | 3,14 | 16,92 | 21,67 | Non significatif |
| Logarithmiques | VI | 10 | 16,44 | 18,31 | 23,21 | Non significatif |
| | X | 9 | 6,20 | 16,92 | 21,67 | Non significatif |

carrés moyens clonaux, dans tous les essais, laisse peu de doutes sur la validité de cette conclusion (tabl. 5).

Or, lorsque les différents traitements d'un essai n'ont pas la même variance, les comparaisons deux à deux, des moyennes « traitement », à la fin de l'interprétation, avec un carré moyen aléatoire calculé sur l'ensemble des résultats, conduit à sous-estimer (pour les traitements peu variables) ou à surestimer (pour les traitements très variables) les différences significatives entre ces moyennes. Il en résulte une perte considérable de précision et, d'autre part, l'estimation des effets bloc, traitement et erreur est fortement biaisée.

TABLEAU 5

*Étalement des carrés moyens* (5e pousse)

| Variété | Essai | Carré moyen clonal × $10^5$ | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | plus grand | | plus petit | |
| | | Porte-greffe | Carré moyen | Porte-greffe | Carré moyen |
| *Passe-Crassane* | I | *C. 96-8* | 222 | *C. 16 L 2* | 17 |
| | IV | *C. 35 L 3* | 216 | *C. 19 L 1* | 50 |
| | VI | *C. 21 L 4* | 232 | *C. 110* | 13 |
| | X | *C. 21 L 4* | 224 | *C. 120* | 7 |
| | XIV | *C. 102* | 108 | *C. 123-1* | 14 |
| *Beurré Hardy* | II | *C. 16 L 2* | 245 | *C. 21 L 4* | 24 |
| | V | *C. 1 R* | 370 | *C. 16 L 2* | 76 |
| | VII | *C. 10 L 2* | 425 | *C. 29* | 35 |
| | XV | *C. 32 L 1* | 264 | *C. 87-25* | 11 |
| *Williams* | VIII | *C. 87-25* | 269 | *C. 98-4* | 66 |
| | IX | *C. 36 R 1* | 365 | *C. 22 R 1* | 69 |
| | XIII | *C. 140-2* | 1 173 | *C. 98-4* | 94 |
| *Epine du Mas* | III | *C. 19 L 1* | 843 | *C. 81-1* | 46 |
| | VII | *C. 130* | 632 | *C. 110* | 74 |
| | XI | *C. 1 R* | 570 | *C. 120* | 136 |

En effet, dans un essai bloc, une observation quelconque peut être représentée par le modèle :

$$x_{ij} = m + a_i + b_j + e_{ij}$$

avec :

$m$ = moyenne générale
$a_i$ = contribution du traitement $i$
$b_j$ = contribution du bloc $j$
$e_{ij}$ = terme aléatoire.

Si l'on désigne par $k_B$ le nombre de blocs et par $k_T$ le nombre de traitements, les carrés moyens « bloc », « traitement » et « erreur » estiment alors les paramètres indiqués au tableau 6.

$s^2_B$ est le carré moyen des contributions « bloc » et on a :

$$s^2_B = \frac{\sum_j b_j^2}{k_B - 1}$$

$s^2_T$ est le carré moyen des contributions « traitement » et on a :

$$s^2_T = \frac{\sum_i a_i^2}{k_T - 1}$$

$s^2$ est le carré moyen dû aux fluctuations aléatoires.

Si l'estimation $V_E$ de $s^2$ est biaisée, même si les estimations $V_T$ et $V_B$ sont correctes, l'effet bloc (estimation du rapport $1 + \frac{k_T s^2_B}{s^2}$) et l'effet traitement (estimation du rapport $1 + \frac{k_B s^2_T}{s^2}$) sont erronés.

On estime donc de façon incorrecte la signification des différentes sources de variation.

TABLEAU 6

*Composantes de la variance d'un essai bloc*

| Sources de variations | Variance calculée | Composantes estimées |
|---|---|---|
| Blocs ..... | $V_B$ | $s^2 + k_T s^2_B$ |
| Traitements ..... | $V_T$ | $s^2 + k_B s^2_T$ |
| Erreur ..... | $V_E$ | $s^2$ |

Lorsque les variances de chaque traitement diffèrent significativement, il est cependant encore possible de tester l'hypothèse d'égalité des moyennes. SNEDECOR (1956, section 10.20, p. 287-288) indique une méthode de calcul qui, appliquée à certains des essais considérés, a montré que la probabilité pour que les moyennes des traitements soient identiques était très inférieure à 0,5 p. 100. Ce test confirmant l'existence de différences entre clones de façon très significative, on peut alors chercher à comparer entre eux les différents porte-greffes.

Pour ce faire, il est indispensable de rassembler les traitements en groupes de variances statistiquement homogènes, à l'intérieur desquels une interprétation normale sera valable.

Le premier objectif de l'interprétation de l'essai n'est plus alors l'établissement de différences significatives entre moyennes, mais l'appréciation de différences de variance entre les traitements.

L'hétérogénéité des variances des circonférences rend tout aussi inexacte, d'un point de vue statistique, l'utilisation du taux de croissance défini par :

$$\begin{aligned} TC &= \log \frac{\text{circ. (année } n+1)}{\text{circ. (année } n)} \\ &= \log \text{ circ. (année } n+1) - \log \text{ circ. (année } n). \end{aligned}$$

Il constitue une relation linéaire entre deux variables aléatoires, les logarithmes des circonférences annuelles. Donc sa variance, Var. (TC), a pour expression :

$$\text{Var (TC)} = \text{Var [log circ. } (n + 1)] + \text{Var [log circ. } (n)] - 2 \text{ cov [log circ. } (n + 1), \text{ log circ. } (n)].$$

Or, si nous ignorons tout du terme covariance, nous savons que les deux variances diffèrent considérablement d'un clone à l'autre. Il devient alors très difficile de conclure.

## III. — MÉTHODE D'INTERPRÉTATION

Le dispositif adopté sur le terrain (un seul arbre par parcelle élémentaire) ne permet pas un contrôle précis du carré moyen d'échantillonnage spécifique de chaque combinaison. Pour apprécier ce carré moyen, on est donc obligé de prendre le carré moyen total de la combinaison dans lequel rentre une part de fluctuation due à l'effet « bloc ».

Disposant ainsi d'une approximation de la variabilité caractéristique de chaque combinaison, on peut alors rassembler dans un même groupe les clones de porte-greffes dont les carrés moyens sont très proches. Chacun de ces groupes, soumis à une analyse de la variance tout à fait classique du type bloc (qui peut maintenant s'appliquer valablement puisque toutes les hypothèses fondamentales sont réalisées), fournit un carré moyen de l'erreur. La comparaison, par un test F, de ces carrés moyens constitue un bon critère pour opérer un éventuel regroupement complémentaire des traitements. En effet, le but de l'interprétation est d'arriver à comparer entre eux le plus grand nombre possible de porte-greffes.

Dans les quinze essais ainsi traités, les carrés moyens des porte-greffes réunis dans un même groupe d'analyse varient généralement du simple au triple. Comme les essais sont du même type, à dix répétitions (sauf deux à onze et un à seize), on voit que cette étendue de variation correspond à la valeur limite $F_{5\,\%} = 3{,}18$ du rapport de deux variances ayant toutes deux neuf degrés de liberté.

A l'intérieur de chaque groupe à variabilité homogène, on décompose le carré moyen total en effets dus aux blocs, effets dus aux traitements, et variation non contrôlée. On compare ensuite les moyennes des circonférences du tronc par les tests classiques. Dans le cas présent, on a adopté le test à *Range* multiple de DUNCAN, qui paraît le mieux adapté au problème considéré.

La précision des comparaisons entre moyennes dépend évidemment de l'importance du carré moyen résiduel du groupe : on met statistiquement en évidence des différences de vigueur beaucoup plus faibles dans les groupes peu variables que dans ceux à forte variabilité. Ce phénomène inévitable n'est cependant pas très gênant. En effet, le but de ces essais est de sélectionner des porte-greffes supérieurs à ceux qui sont actuellement disponibles pour les diverses variétés de Poirier. Il est donc évident que les combinaisons les plus variables présentent *a priori* un intérêt bien inférieur aux autres. D'autre part, nous allons voir que la forte variabilité d'une combinaison indique l'existence de propriétés biologiques que l'on considère comme défavorables.

*Exemple d'analyse* : essai VI, variété *Passe-Crassane*, 5e pousse.

On commence par rassembler les clones de porte-greffes du tableau 3 d'après leur variance, ce qui donne les groupes indiqués au tableau 7.

TABLEAU 7

*Groupement préalable des clones*

| Groupe | Clone | Carré moyen × $10^5$ |
|---|---|---|
| 1 | *C. 21 L 4* | 232 |
| | *C. 96-8* | 189 |
| 2 | *C. 1 R* | 155 |
| | *C. 109-2* | 130 |
| | *C. 19 L 1* | 122 |
| | *C. 98-4* | 122 |
| 3 | *C. 101* | 78 |
| | *C. 120* | 77 |
| 4 | *C. 60-3* | 64 |
| | *C. 35 L 3* | 61 |
| | *C. 27 L 2* | 61 |
| 5 | *C. 16 L 2* | 49 |
| | *C. 29* | 43 |
| 6 | *C. 81-1* | 28 |
| | *C. 110* | 13 |

On analyse ensuite chaque groupe sous forme d'essai bloc à onze répétitions, ce qui fournit les variations aléatoires indiquées dans le tableau 8.

On ordonne alors ces variances et on effectue les comparaisons entre variances consécutives par un test F (tabl. 9).

TABLEAU 8

*Analyse de chaque groupe*

| Groupe | Degrés de liberté | Carré moyen résiduel × $10^6$ |
|---|---|---|
| 1 | 10 | 1 120 |
| 2 | 30 | 670 |
| 3 | 10 | 1 038 |
| 4 | 18 | 701 |
| 5 | 10 | 163 |
| 6 | 10 | 191 |

On opère alors le regroupement :

Groupe A = 5 + 6
Groupe B = 2 + 4
Groupe C = 1 + 3

TABLEAU 9

*Comparaison des carrés moyens résiduels*

| Comparaison | F calculé | F tabulaire (5 %) |
|---|---|---|
| 1 — 3 | 1,08 | 2,97 |
| 3 — 4 | 1,48 | 2,41 |
| 4 — 2 | 1,05 | 1,96 |
| 2 — 6 | 3,51 | 2,70 |
| 6 — 5 | 1,17 | 2,97 |

Les groupes B et C n'ont pas été réunis bien que le rapport des carrés moyens résiduels de 3 et de 4 ne soit pas significatif. Le calcul des carrés moyens résiduels des groupes A, B et C et leur comparaison confirment cette décision (tabl. 10 et 11).

Il ne reste plus maintenant qu'à comparer la vigueur moyenne des traitements à l'intérieur de chacun des groupes A, B et C par un test de DUNCAN.

TABLEAU 10

*Groupement définitif*

| Groupes | Sous-groupes composants | Degrés de liberté du carré moyen résiduel | Carré moyen résiduel $\times 10^6$ |
|---|---|---|---|
| A | 5 + 6 | 30 | 223 |
| B | 2 + 4 | 60 | 750 |
| C | 1 + 3 | 30 | 1 464 |

TABLEAU 11

*Comparaison des carrés moyens résiduels des groupes définitifs*

| Comparaison | F calculé | F tabulaire (5 %) |
|---|---|---|
| C/B | 1,95 | 1,65 |
| B/A | 3,36 | 1,74 |

## IV. — DISCUSSION DES RÉSULTATS OBTENUS

Après avoir réparti les différents clones de cognassiers testés en groupes de variance analogue, on a pu comparer leur vigueur. Cependant, il reste à déterminer, dans la mesure du possible :

- les causes des différences de variabilité observées entre clones ;
- les dispositifs d'implantation et les méthodes d'interprétation qui faciliteraient le contrôle de cette variabilité spécifique de chaque combinaison.

### A. — Déterminisme des différences de variabilité observées

En examinant la variance totale de chacun des essais, on constate que son importance est en relation avec l'affinité existant entre les cognassiers testés et la variété de Poirier qu'ils portent : le carré moyen est d'autant plus grand que l'affinité est plus mauvaise (affinité jugée d'après l'examen de coupes longitudinales au niveau du point de greffe). Le tableau 12 illustre cette relation en donnant, par ordre croissant, le carré moyen de chaque variété.

TABLEAU 12

*Carrés moyens variétaux*

| Variété | Carré moyen × $10^6$ |
|---|---|
| *Passe-Crassane* | 163 |
| *Beurré Hardy* | 235 |
| *Williams* | 260 |
| *Epine du Mas* | 346 |

*Passe-Crassane* et *Beurré Hardy*, dont l'affinité avec le Cognassier est considérée comme excellente, présentent la variabilité la plus faible alors que *Williams* et *Epine du Mas*, dont les arbres cassent souvent à l'union, varient beaucoup plus.

Si l'on considère des essais où se trouvent côte à côte, dans les mêmes conditions, des variétés différentes greffées sur des gammes analogues de cognassiers, ces résultats sont également très nets (tabl. 13).

La variété *Beurré Hardy*, communément utilisée comme intermédiaire pour les variétés incompatibles avec le Cognassier, présente une variance supérieure à *Passe-Crassane* qui, elle, n'a jamais été utilisée comme intermédiaire. Ceci confirme l'examen des coupes au niveau du point de greffe : l'union *Passe-Crassane*-Cognassier est toujours parfaite, alors que l'on observe quelquefois de légères nécroses corticales avec *Beurré Hardy* greffé sur certains cognassiers. Peut-être aussi la très grande sensibilité de *Beurré Hardy* aux nombreuses viroses du Poirier (pour lesquelles cette

variété sert d'ailleurs d'indicateur) joue-t-elle un rôle. En effet, on sait que l'infection par une virose d'un lot d'arbres de la même combinaison variété-porte-greffe se manifeste, entre autres symptômes, par une nette augmentation de la variabilité.

*On peut donc avancer que l'affinité et l'état sanitaire de la combinaison ont tous deux une influence importante sur la variabilité des essais.*

TABLEAU 13

*Liaison affinité-variabilité*

| Essai | Variété | Carré moyen × $10^6$ |
|---|---|---|
| I | *Passe-Crassane* | 117 |
| II | *Beurré Hardy* | 139 |
| III | *Epine du Mas* | 270 |
| VI | *Passe-Crassane* | 169 |
| VII | *Epine du Mas* | 447 |
| X | *Passe-Crassane* | 249 |
| XI | *Epine du Mas* | 320 |
| XII | *Beurré Hardy* | 408 |
| XIII | *Williams* | 446 |
| XIV | *Passe-Crassane* | 118 |
| XV | *Beurré Hardy* | 153 |

Examinons maintenant le comportement individuel des clones de Cognassier étudiés. Il n'est pas possible de considérer tous les clones car certains ne figurent pas dans un nombre suffisant d'essais pour que l'on puisse en tirer des conclusions précises. Ceux sur lesquels on peut se prononcer vont être successivement considérés de deux façons :

des clones différents greffés avec la même variété ;
un même clone portant des variétés différentes.

*a*) On peut classer les différents clones greffés avec la même variété en deux groupes :

1° Des clones — assez nombreux — qui, dans tous les essais, sont toujours, ou très peu, ou très variables. Chaque essai ayant généralement été divisé en deux ou trois groupes de variabilité, ces clones se retrouvent toujours classés dans le même groupe. On peut citer en exemple, avec *Passe-Crassane*, comme clone peu variable le *C. 29* et comme clone très variable le *C. 21 L 4.*

2° Des clones — nettement moins nombreux — dont le comportement est très variable d'un essai à l'autre. On peut citer en exemple, toujours avec *Passe-Crassane*, le *C. 1 R* (Cognassier A de la Station d'East Malling).

Alors qu'un comportement identique dans tous les essais peut être attribué à l'affinité avec la variété considérée ou à l'état sanitaire, les variations de compor-

tement d'un essai à l'autre doivent s'interpréter comme une plus ou moins bonne adaptation de la combinaison à un « milieu » donné (le terme milieu étant ici pris dans un sens très large : facteurs climatiques, techniques culturales, forme et taille des arbres, aptitudes de l'arboriculteur, etc...).

*b*) Considérons maintenant le même clone de Cognassier portant des variétés différentes (*Passe-Crassane, Williams, Epine du Mas, Beurré Hardy*) ; on observe alors les caractéristiques suivantes :

1° Aucun clone ne se comporte vraiment bien avec *Epine du Mas*, les variances étant toujours très élevées (bien que certains clones paraissent moins mauvais que les autres). Ceci confirme les conclusions tirées de l'examen des points de greffe : toutes les combinaisons présentent des nécroses importantes à l'union.

2° Certains clones présentent une variabilité régulièrement faible avec toutes les autres variétés : ainsi le *C. 29* est toujours classé dans le groupe de moindre variance.

3° D'autres clones, bien que généralement assez variables, sont particulièrement réguliers avec une variété : le *C. 98-4* est le clone qui présente la plus petite variance dans tous les essais avec *Williams*, de même le *C. 110* avec *Epine du Mas* ou le *C. 62-1* avec *Beurré Hardy*.

En se basant sur la régularité de leur comportement, on pourrait donc attribuer aux clones de Cognassier une « aptitude à l'association » avec les diverses variétés de Poirier. Certains clones, tel le *C. 29*, auraient une « aptitude générale à l'asso-

TABLEAU 14

*Relation variabilité-vigueur moyenne d'un groupe*

| Essai | Variété | Carré moyen × $10^6$ | Moyenne |
|---|---|---|---|
| I | *Passe-Crassane* | 436 | 2,334 75 |
| | | 1 330 | 2,332 19 |
| II | *Epine du Mas* | 1 236 | 2,249 92 |
| | | 3 048 | 2,237 55 |
| VI | *Passe-Crassane* | 223 | 2,443 74 |
| | | 750 | 2,428 41 |
| | | 1 464 | 2,429 70 |
| VII | *Epine du Mas* | 1 279 | 2,320 41 |
| | | 3 325 | 2,247 29 |
| XII | *Beurré Hardy* | 320 | 2,418 77 |
| | | 1 443 | 2,343 51 |
| | | 3 207 | 2,314 54 |
| XIII | *Williams* | 1 619 | 2,250 92 |
| | | 3 412 | 2,214 48 |
| | | 7 146 | 2,163 50 |

ciation » élevée avec toutes les variétés examinées, bien qu'ils ne soient pas forcément les meilleurs dans tous les cas. D'autres, comme le *C. 98-4* ou le *C. 62-1*, présenteraient une « aptitude particulière à l'association » vis-à-vis d'une variété, et un comportement avec les autres quelconque ou franchement mauvais.

Cette « aptitude à l'association » reflète le comportement général réciproque des deux associés. Elle se traduit par la plus ou moins grande variabilité des individus d'une combinaison, sous l'action de facteurs différents mais qui interfèrent certainement de façon complexe. Malgré le manque de renseignements précis sur son déterminisme, cette notion peut être d'une certaine utilité pour sélectionner de nouveaux porte-greffes. En effet, qu'elle soit due à un mauvais état sanitaire, à une mauvaise affinité ou à une mauvaise adaptation au milieu, une grande variabilité est toujours un critère d'élimination.

Enfin, sur l'ensemble des essais analysés, on remarque l'existence d'une légère relation de proportionnalité inverse entre la vigueur moyenne d'un groupe et sa variabilité (tabl. 14) : moins un groupe est variable et plus il est vigoureux. Il est donc probable que les facteurs qui provoquent une plus grande irrégularité exercent également un effet dépressif sur la vigueur. Cela n'a rien de surprenant si l'on considère l'état sanitaire de la combinaison comme facteur induisant une forte variabilité. Par contre, il était jusqu'ici admis qu'une plus ou moins bonne affinité, dans le cas du Poirier sur Cognassier, n'affectait pas la vigueur de la combinaison — affirmation quelque peu surprenante quand on observe les troubles métaboliques variés qu'entraîne une nécrose importante au point d'union.

## B. — Les dispositifs statistiques utilisables

### 1° *Nombre d'arbres par parcelle élémentaire*

La variabilité des circonférences du tronc semble bien être une propriété caractéristique de la combinaison porte-greffe-variété. Donc il est indispensable de pouvoir apprécier avec une grande précision le carré moyen résiduel spécifique de chaque combinaison. Par conséquent, il faut contrôler la part de variation commune aux différents clones testés et provoquée par des facteurs d'environnement. Seul un dispositif sur le terrain à plusieurs arbres par parcelle élémentaire permet ce contrôle.

Malheureusement, ce type de dispositif présente aussi de sérieux inconvénients. S'il comporte un faible nombre d'arbres dans chaque parcelle, la perte de quelques individus, toujours possible, rendra l'exécution des calculs très délicate au cours de l'interprétation ; si ces pertes sont nombreuses, les parcelles n'ayant alors plus le même nombre d'individus, la précision des informations recueillies variera d'une parcelle à l'autre, ce qui est pour le moins gênant. Or, malgré toutes les précautions que l'on pourra prendre, on doit s'attendre à enregistrer un certain nombre d'arbres manquants, surtout dans les essais exécutés avec des variétés peu ou très peu compatibles avec le Cognassier, comme *Williams*, *Epine du Mas* ou *Beurré Bosc*.

Si l'on utilise un nombre élevé d'arbres dans chaque parcelle élémentaire, il sera possible de ne pas tenir compte des quelques manquants. Mais la dimension des blocs et de tout l'essai deviendra considérable et l'hétérogénéité due au milieu

sera moins bien contrôlée. Enfin, que l'on place dans chaque parcelle seulement quelques arbres ou un grand nombre, on risque fort de constater que le carré moyen intraparcellaire est supérieur au carré moyen interparcelles, ce qui pose des problèmes sérieux pour l'appréciation des effets contrôlés et pour la définition des différences significatives entre moyennes.

On pourrait évidemment calculer le carré moyen de chaque parcelle, puis le traiter comme une variable aléatoire ordinaire et le soumettre à une analyse bloc classique, en travaillant sur des « moyennes de variance » et des « variances de variance ». Rien ne s'oppose, *a priori*, à traiter le carré moyen parcellaire comme une variable aléatoire. Cependant ce procédé est quelque peu artificiel et il serait beaucoup plus satisfaisant d'avoir un dispositif permettant de décomposer directement la variance totale en composantes attribuables aux différentes causes contrôlées.

Le dispositif à retenir semble donc bien devoir comporter un nombre élevé d'arbres par parcelle élémentaire — au moins trente si l'on désire connaître avec une bonne précision les carrés moyens parcellaires. Malgré ses dimensions importantes, il n'est pas incompatible avec les disponibilités usuelles en terrain : avec trente arbres espacés à 3 m × 5 m par parcelle élémentaire, la comparaison de quatre porte-greffes avec quatre répétitions occupe à peine un hectare.

### 2° *Disposition des essais*

Si l'on retient trente comme nombre minimum d'arbres par parcelle, nous avons vu d'une part que la dimension de l'essai devient très grande, d'autre part que le carré moyen dans les parcelles risque d'être supérieur au carré moyen entre parcelles.

Il faut donc agir à la fois sur la dimension de l'essai et sur la valeur du carré moyen entre parcelles. Une solution envisageable consiste à prendre le verger comme bloc, en augmentant beaucoup le nombre d'individus de chaque combinaison et en réduisant le nombre de traitements au minimum compatible avec ce que l'on désire observer. On intègre alors dans l'effet « bloc » les différences de fertilité d'un verger à l'autre, les différences climatiques, les différences de conduite des arbres et de niveau technique de l'arboriculteur dans le cas de l'expérimentation extérieure ; on y intègre aussi toutes les interactions milieu-traitement. Dans ces conditions, les variations d'un bloc à l'autre deviennent très grandes et le plus souvent supérieures à la variation entre parcelles. De même, en augmentant beaucoup la dimension des parcelles, on a des chances raisonnables d'obtenir un carré moyen interparcelles supérieur au carré moyen intra-parcelle. Enfin, ce dispositif permet de prendre le rang, ou une fraction du rang d'arbres, comme parcelle élémentaire, ce qui offre des avantages pratiques considérables lors des opérations de récolte ou de traitement (notamment dans le cas des formes palissées) et, plus généralement, chaque fois que des mensurations individuelles ne sont pas indispensables.

On pourrait objecter que le bloc contrôle alors des causes de variation auxquelles ce dispositif n'est pas forcément adapté. En effet, on a l'habitude d'utiliser l'essai bloc pour contrôler un gradient d'hétérogénéité sur le terrain. Cependant, il faut remarquer qu'en expérimentation fruitière, même avec un seul arbre par parcelle élémentaire, la dimension des parcelles et l'hétérogénéité intra-bloc sont telles qu'il est le plus souvent illusoire de l'employer ainsi, sauf cas particulier (pré-

sence d'une ancienne haie, d'une allée, d'une ligne de drains, d'un gradient de pollinisation, etc...). Dans le cas des essais de porte-greffes du Poirier, la variabilité provoquée par les différences d'état physiologique des arbres est presque toujours de beaucoup supérieure à ces gradients d'hétérogénéité (sauf dans les cas particuliers cités). On a alors intérêt à contrôler, par la disposition en blocs, des sources de variation nettement plus grandes, comme les différences climatiques d'une localité à une autre, ce qui rend matériellement possible la collecte d'informations sur un plus grand nombre d'individus et ce qui permet un contrôle des interactions traitement-milieu.

Les « blocs-vergers » ainsi constitués peuvent être placés sans inconvénient chez des arboriculteurs qui les accepteront plus facilement que des essais où la récolte doit être toujours effectuée arbre par arbre. Le dispositif conserve toute la souplesse du bloc de FISHER, un essai mal conduit pouvant être éliminé de l'interprétation. Un inconvénient certain du système provient de la nécessité de planter tous les « blocs-vergers » la même année si l'on désire éviter l'introduction d'une cause de variation supplémentaire très importante tant que les arbres n'ont pas atteint leur équilibre. Cela peut constituer une charge assez délicate à supporter.

Enfin, dans une toute dernière phase de sélection, des clones régulièrement très peu variables pourront être testés dans des milieux très différents à l'aide d'un dispositif en blocs incomplets, où le bloc sera encore le verger. Si l'on veut contrôler de façon rigoureuse l'adaptation au milieu, il suffira de placer dans tous les essais deux clones témoins bien connus. Mais il deviendra alors indispensable de ne perdre aucun verger sous peine de ne plus pouvoir interpréter, ce qui impose pratiquement une implantation de ces essais sur des domaines bien choisis de l'I.N.R.A.

## V. — CONCLUSIONS

Les considérations précédentes mettent en évidence quelques-unes des très nombreuses difficultés rencontrées au cours de l'implantation et de l'interprétation des essais d'arbres fruitiers. Ces difficultés sont particulièrement graves dans le cas d'essais porte-greffes, lorsque l'affinité ou l'état sanitaire ne sont pas entièrement satisfaisants. On est alors en présence d'une variabilité des résultats telle qu'elle impose un changement complet des objectifs de l'interprétation : au lieu de chercher à estimer des différences significatives entre moyennes, il faut s'intéresser d'abord aux carrés moyens, les estimer et les comparer statistiquement. La comparaison des moyennes devient ensuite possible à l'intérieur de groupes ayant la même variance.

La très grande variabilité des arbres, liée à leur nature perenne et au fait que l'unité d'observation est l'individu, est responsable de presque toutes les difficultés observées. Aussi paraît-il assez illogique de traiter statistiquement ce matériel avec un nombre extraordinairement réduit d'individus, alors que des génotypes identiques (puisque ce sont des associations de clones), placés dans les mêmes conditions, présentent de très grandes différences de comportement. Il est absolument indispensable d'augmenter la quantité de données élémentaires, donc le nombre d'individus observés ; mais cela est parfaitement impossible avec les dispositifs classiques en raison de l'espace nécessaire.

D'ailleurs ces dispositifs, conçus en fonction d'impératifs très différents, ne peuvent être appliqués au matériel fruitier sans précautions. Ils sont souvent très mal adaptés aux problèmes à résoudre. Aussi est-il nécessaire de mettre au point de nouveaux schémas expérimentaux, qui tiennent mieux compte des contingences imposées par le matériel végétal testé et qui ainsi conviendront mieux aux exigences de l'expérimentation fruitière.

Cependant, la création de ces dispositifs ne résoudra pas tous les problèmes. Il est certain que tous les moyens utilisables pour réduire la variabilité du matériel : choix d'un terrain homogène, calibrage des arbres, conduite du verger, etc... contribueront beaucoup à en augmenter l'efficacité.

*Reçu pour publication en juillet* 1966.

## SUMMARY

CONTRIBUTION TO THE ANALYSIS OF ROOTSTOCK TRIALS FOR THE PEAR-TREE

Various problems arise in the statistical analysis of quince root-stock trials for the pear. It was possible to study some of them in the experimental orchards established by the Fruit Tree Research Station of Angers.

The observed heterogeneity in the mean squares within clones was attributed to the variable graft-compatibility of pear varieties with the different quince clones.

It is concluded that the features of such trials necessitate the designing of new experimental designs to estimate differences among treatment mean squares, and require the use of a great number of trees for each treatment.

## REMERCIEMENTS

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans l'aide de M^me^ MARTIN, qui a effectué la plus grande partie des calculs nécessaires, et de J.-C. MICHELESI, qui a recueilli dans les vergers d'essai les observations utilisées.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BARTLETT M. S., 1948. The use of transformations. *Biometrics*, **3**, 1, 39-52.

BROSSIER J., 1965. La sélection de porte-greffes du Poirier dans les populations naturelles de Cognassier. I. Étude des populations naturelles de Cognassier. *Ann. Amélior. Plantes*, **15**, 3, 263-326. II. Sélection de cognassiers porte-greffes du Poirier. *Ann. Amélior. Plantes*, **15**, 4, 373-404.

DUNCAN D. B., 1955. Multiple range and multiple F tests. *Biometrics*, **11**, 1, 1-42.

EISENHART C., 1948. The assumptions underlying the analysis of variance. *Biometrics*, **3**, 1, 1-21.

PEARCE S. C., 1943. The statistical interpretation of vigour measurements of fruit trees. *J. Pomol.*, **20**, 111-115.

PEARCE S. C., 1943. Studies in the measurement of apple trees. I. The use of trunk girth to estimate tree size. *Rep. East Malling Res. Sta. for* 1951, 1952, 101-104.

PEARCE S. C., MOORE C. S., 1962. A study of sources of variation in apple tree experiments. *J. hortic. Sci.*, **37**, 3, 175-189.

RIVES M., 1959. Sur la comparaison des moyennes dans les essais variétaux. *Ann. Amélior. Plantes*, **9**, 3, 357-376.

RIVES M., 1960. Sur l'analyse de la variance. I. L'emploi de transformations. *Ann. Amélior. Plantes*, **10**, 3, 309-311.

SNEDECOR G. W., 1956. *Statistical Methods. 5th* ed., Iowa State University Press.

*Ann. Amélior. Plantes*, 1966, **16** (4), 367-384.

# MÉTHODE DE DÉTERMINATION DE LA RÉSISTANCE A L'ASPHYXIE RADICULAIRE DE CERTAINS PORTE-GREFFES D'ARBRES FRUITIERS

R. SAUNIER

*Station de Recherches d'Arboriculture fruitière,*
*Centre de Recherches agronomiques du Sud-Ouest, 33 - Pont-de-la-Maye*

SOMMAIRE

L'objet de ce travail est d'étudier expérimentalement, en conditions contrôlées, la résistance à l'asphyxie des racines de porte-greffes d'arbres fruitiers. Les porte-greffes choisis pour cette étude appartiennent aux genres et espèces les plus divers et sont d'usage courant en arboriculture.

La résistance à l'asphyxie de chaque type de porte-greffe est étudiée d'une part pendant la période hivernale de repos végétatif, d'autre part, pendant la période de végétation active.

Les résultats obtenus permettent de classer les différents porte-greffes en fonction de leur sensibilité à l'asphyxie. Ils apportent également une utile contribution aux méthodes de sélection des porte-greffes.

## INTRODUCTION

Pour croître et fructifier normalement, un arbre fruitier doit disposer d'un système radiculaire sain et bien développé. Cette exigence ne peut être satisfaite que dans un sol convenablement aéré mettant à la disposition des racines l'oxygène qui leur est indispensable ; l'excès d'eau stagnante, surtout s'il se prolonge au-delà de certaines limites, est nocif pour les racines qui meurent par asphyxie et fermentation.

Cette mortalité d'arbres fruitiers par asphyxie des racines en terrains mal drainés est un accident que l'on rencontre fréquemment dans le sud-ouest de la France, en année de pluviométrie excessive alors que les racines sont fonctionnelles : automne, fin de l'hiver. Cent cinquante mille arbres sont morts d'asphyxie, en 1960-61, dans

le seul département de Tarn-et-Garonne. Le Pêcher est régulièrement l'espèce la plus affectée, comme le montrent les observations réalisées en 1960 et 1961, où 8 à 10 p. 100 des pêchers greffés sur franc furent détruits par asphyxie, alors que les dégâts sur pruniers, pommiers et poiriers restaient très limités.

Dans des conditions d'asphyxie radiculaire déterminées, l'importance des dommages subis par un arbre dépend, dans une large mesure, de l'espèce à laquelle appartient son porte-greffe ; l'espèce et même le cultivar greffé jouent également à cet égard un rôle non négligeable.

A ce propos, il convient d'évoquer les recherches conduites par différents chercheurs américains et japonais. Après avoir montré que les racines utilisent l'oxygène de l'atmosphère du sol ou celui qui se trouve dissous dans l'eau, ils purent établir que la probabilité de mort des racines d'un porte greffe déterminé était d'autant plus grande que la quantité d'oxygène disponible était plus faible.

BOYNTON et MORITA étudièrent ensuite les teneurs minimales en oxygène permettant la survie des racines. Ils mirent en évidence la variation de ces teneurs minimales nécessaires, en fonction des espèces et aussi, dans une certaine mesure, en fonction du diamètre des racines. Ils démontrèrent enfin que ce sont les parties jeunes des racines, c'est-à-dire les régions en croissance active, qui absorbent le plus d'oxygène.

En ce qui concerne les exigences spécifiques, on peut les classer de la façon suivante :

. Les racines de vigne et de kaki tolèrent de faibles concentrations en oxygène, de l'ordre de 1 p. 100.

. Les racines de pommier et de poirier continuent à vivre lorsque le taux est faible, de 1 à 3 p. 100. A des concentrations inférieures à 1 p. 100, les racines perdent du poids. Des analyses en milieu contrôlé indiquent qu'un niveau élevé en oxygène est cependant nécessaire à l'initiation de nouvelles racines à partir d'un système radiculaire existant.

Les études entreprises sur des semis de pommier ont montré que la croissance des racines s'arrêtait dès que la concentration en oxygène descendait au-dessous de 10 p. 100.

. Les racines de pêcher supportent mal les faibles concentrations : à 2 p. 100, elles meurent ; à 5 p. 100, leur croissance est très réduite ; une croissance normale ne commence à se manifester qu'entre 7 et 10 p. 100.

En règle générale, le développement radiculaire paraît très affecté quand la teneur en oxygène tombe au-dessous de 8 à 10 p. 100 et semble cesser au-dessous de 5 p. 100.

## MÉTHODES DE TRAVAIL

Cette méthode a été mise au point dans le but d'étudier expérimentalement la sensibilité à l'asphyxie radiculaire d'un certain nombre de porte-greffes d'arbres fruitiers à noyau et à pépins, d'usage courant en arboriculture.

Elle consiste schématiquement à placer les porte-greffes à étudier dans des conditions d'asphyxie uniformes mais de durée variable.

Les porte-greffes destinés à être testés vis-à-vis de leur résistance à l'asphyxie sont placés, pendant leur période de repos végétatif, dans des cases ou bacs étanches et munis de robinets de vidange à plusieurs niveaux, permettant ainsi de maintenir l'eau au niveau désiré, et d'être vidés à volonté (fig. 1 et 2).

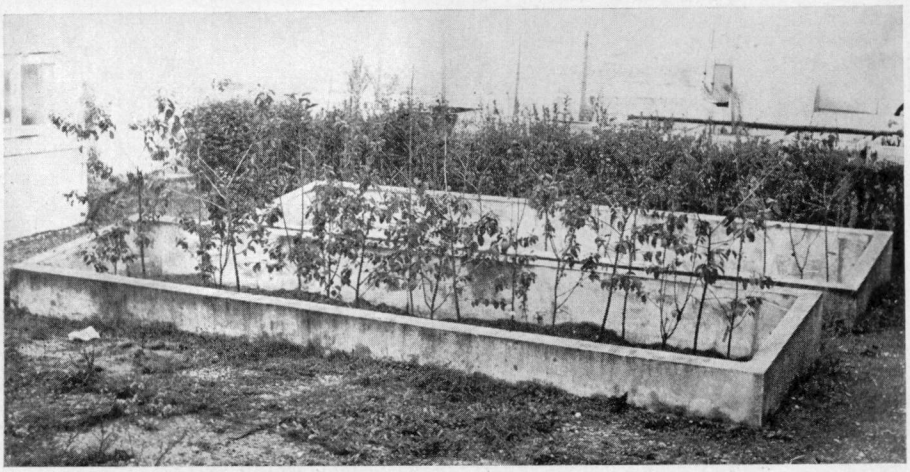


FIG. 1. — *Bacs aménagés pour les tests de résistance à l'humidite*

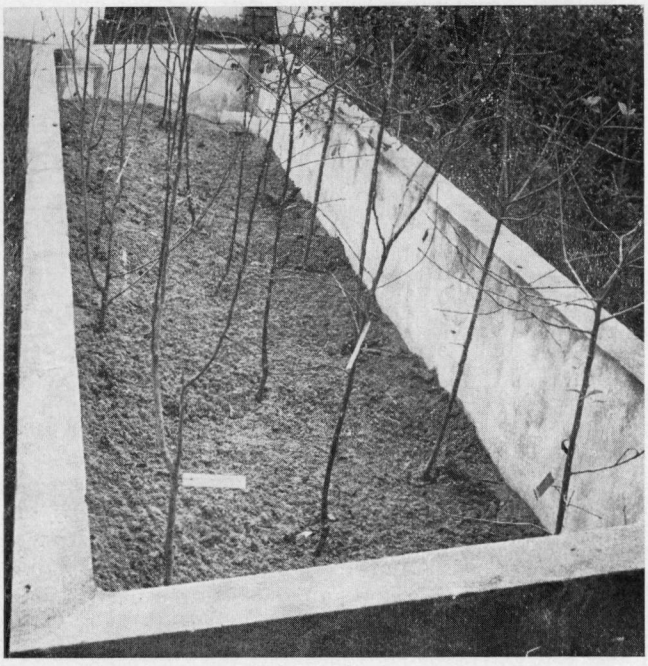


FIG. 2. — *Dans ce bac sont rassemblés les* Prunus *type* domestica :
(rangée de gauche, *Brompton* ; rangée du centre, *Saint-Julien GF 655-2* ;
rangée de droite, *Damas GF 1869*)

Le sol choisi comme support a deux origines :

— lors des premiers tests, nous avons utilisé un sol de limon sableux humifère ;

— par la suite, nous avons employé du sable de rivière. La différence entre ces deux substrats est importante.

Dans le premier cas, le type de sol choisi présente l'avantage de se rapprocher du milieu où l'on enregistre généralement des accidents végétatifs.

Mais la richesse en oxygène de l'air et de l'eau d'un sol est influencée de façon sensible par la présence de matières organiques (mobilisation d'oxygène pour son évolution).

Nous avons donc préféré, pour les essais ultérieurs, placer les plants dans du sable de rivière, ne contenant aucune matière organique. D'autre part, cette méthode permet des essais plus aisément reproductibles.

Les arbres placés dans ces conditions sont arrosés chaque fois que cela paraît nécessaire. Ils sont alimentés mensuellement (de mars à août) par une solution nutritive complète comprenant les éléments majeurs ainsi que les oligo-éléments.

Conduits de cette façon, les sujets se développent normalement. Ils ne sont submergés que l'hiver ou le deuxième été suivant la plantation. Il est en effet nécessaire que ces porte-greffes aient poussé et soient en possession d'un système radiculaire suffisamment développé.

Dans tous les cas, nos expériences ont été réalisées à raison de 6 répétitions pour chaque type testé ; les distances de plantation étant de 0,60 m × 0,60 m.

Pour tous ces essais, l'eau n'est jamais renouvelée, son niveau dans les cases est maintenu à environ 2 à 3 cm au-dessus de la surface du sol et contrôlé journellement au moment des observations. Un tuyau de trop-plein permet d'éliminer presque instantanément les eaux de pluie.

Avant toute plantation, les porte-greffes ont leur collet badigeonné sur une longueur de 15 cm par une peinture désinfectante (1) dans le but d'éviter la mortalité par le collet, pouvant être due à des contaminations par *Phytophtora species* ou à des chancres gommeux.

## RÉSULTATS OBTENUS

Depuis 1957, un certain nombre d'essais furent mis en place et observés.

### A — *Essai de porte-greffes appartenant à différentes espèces du genre* Prunus

Il rassemblait les porte greffes suivants : *Sainte-Lucie* de semis (*Prunus Mahaleb*), Abricotier de semis (*Prunus armeniaca*), *Myrobolan* de semis (*Prunus cerasifera*), Pêcher de semis (*Prunus persica*), Pêcher × Amandier *GF 557* (*Prunus persica* × *Prunus amygdalus*), Prunier *Damas*, Prunier *Saint-Julien* (*Prunus domestica*).

Après 109 jours de submersion (15 décembre 1957 au 4 avril 1958), tous les arbres étaient morts, à l'exception des *Damas*, *Saint-Julien* et *Myrobolan* qui, après drainage, ont végété normalement au printemps suivant.

Les arbres morts présentaient (comme cela sera le cas dans tous les essais) une dégradation totale des racines avec séparation de l'écorce et du bois et un bleuissement général de la zone sous-corticale. Ces mêmes racines dégageaient une forte odeur alcoolique.

L'année suivante, un essai identique fut entrepris. Après 86 jours de submersion (16 décembre 1958 au 11 mars 1959) les cerisiers *Sainte-Lucie*, les pêchers × amandiers *GF 557* et 3 pêchers sur 6 étaient morts.

(1) Nous avons utilisé soit une spécialité commerciale à base de cuivre, soit l'enduit cuprique préconisé et mis au point par la Station anglaise de Long Ashton.

Cette première étape de l'étude nous a permis de montrer que le chiffre de 85 jours d'asphyxie hivernale constituait le seuil critique pour le pêcher de semis, ce qui confirme les observations faites en verger.

B — *Essai de porte-greffes d'espèces et de genres différents*

Étaient rassemblés : Abricotier de semis (*Prunus armeniaca*), *Sainte-Lucie SL 39* (semis) (*Prunus Mahaleb*), Merisier du commerce (semis) (*Prunus avium*), et *GF 305* (semis de Pêcher) (*Prunus persica*).

Pruniers : *Brompton, Saint-Julien 68,* (semis) (*Prunus domestica*), *GF 8-1.* (*Prunus Marianna*).

Pommiers (*Malus pumila*) : *EM I, EM II, EM IX, EM XIII.*

Cognassiers (*Cydonia vulgaris*) : 2 clones de Cognassier de Provence.

Cet essai fut divisé en 2 lots soumis respectivement à 80 et 130 jours de submersion hivernale.

*I^er lot* — Après 80 jours de submersion (du 17 novembre 1961 au 5 février 1962) les observations effectuées au cours du printemps 1962 ont permis de constater que :

— les 6 abricotiers francs étaient morts ;

— 2 pêchers francs *(GF 305)* sur 6, étaient morts ;

— 3 *Sainte Lucie SL 39* sur 6 étaient morts.

Tous les autres porte-greffes poussaient normalement.

*2^e lot* — Après 130 jours de submersion (du 17 novembre 1961 au 27 mars 1962), nous avons constaté que les *Sainte-Lucie SL 39,* les pêchers *GF 305* et les abricotiers de semis étaient tous morts ;

— 3 *Sainte-Lucie SL 39* sur 6 étaient morts.

— 2 merisiers étaient morts, 2 autres repoussaient lentement (50 p. 100 des branches desséchées), 2 repoussaient normalement ;

— 1 *Brompton* sur 6 était desséché mais repoussait du bas ;

— 1 *Saint-Julien* manifestait un retard au débourrement ;

— 4 *EM IX* sur 6 étaient morts.

Tous les autres porte-greffes Prunier, Pommier et Cognassier végétèrent normalement. Cependant, l'examen des racines de ces plants à l'arrachage, au cours du mois de mai 1962, nous a permis de constater que les clones pour lesquels nous avions noté un ou plusieurs arbres morts avaient leur système radiculaire assez fortement endommagé.

Ces essais nous permettent de considérer que, dans des conditions d'asphyxie hivernale, l'Abricotier de semis est l'une des espèces les plus sensibles, ne supportant pas 80 jours, alors que ce même ordre de jours paraît être l'extrême limite pour le *Sainte-Lucie.*

Après 130 jours dans ces mêmes conditions, *Saint-Julien* et *Brompton* (*Prunus domestica*) avaient leur système radiculaire en mauvais état (aux trois quarts détruit), ainsi que l'*EM IX,* alors que les Merisiers pouvaient être considérés comme totalement anéantis.

Un essai identique au précédent fut également mis en place afin de tester la sensibilité des plants en végétation. Nous voulions savoir s'il existait une corré-

TABLEAU I

*Observations effectuées sur des porte-greffes de différents genres et espèces submergés pendant 23 jours durant la végétation*

| | 3e jour | 6e jour | 10e jour | 19e jour | 23e jour | Printemps suivant |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Abricotier (semis) *Sainte-Lucie 39* (semis) | Feuilles flétries commençant à s'enrouler | Plus de feuilles vertes. | Flétrissement total et chute des feuilles. | | Tous les sujets paraissent morts. | Morts |
| Merisier du commerce (semis) | | Feuilles commençant à se flétrir. | Vers un flétrissement généralisé. | | | Morts |
| *GF 305* (semis pêcher) | | | Début d'enroulement des feuilles terminales. | Suite de l'enroulement, pas encore de chute. | | |
| *EM IX* | | | Début de jaunissement du feuillage. | Jaunissement généralisé. → | *Idem.* | Poussent normalement. |
| *EM I* | | | Quelques feuilles rougies qui tombent. | | Rougissement des feuilles de la base. | *Idem* |
| *Saint-Julien Brompton* | | | | Les feuilles commencent à se flétrir. → | Le flétrissement s'est assez fortement accentué. | *Idem* |

lation entre la sensibilité des plants pendant la période de végétation et leur sensibilité durant le repos hivernal.

Deux lots furent constitués, dont la durée de submersion fut respectivement de 6 jours et de 23 jours.

*1er lot.* — Six jours (du 19 au 25 août 1961).

A partir du 2e jour, nous avons noté un début de flétrissement des abricotiers et des *Sainte-Lucie* qui allait en s'accentuant. 4 jours après le drainage, tous les abricotiers et *Sainte-Lucie* avaient leurs feuilles noires et enroulées et, au printemps suivant, seuls les bourgeons végétatifs de la base du tronc de 2 abricotiers sur 6 et de 4 *Sainte-Lucie* sur 6 végétaient. Mais l'examen de leurs racines montra une destruction du système radiculaire. Les autres clones n'avaient subi aucun dommage et poussèrent normalement.

*2e lot* — Après 23 jours (du 26 août au 18 septembre 1961), les observations réalisées sur cet essai sont consignées dans le tableau 1.

Au printemps 1962, on constata que les abricotiers francs, *Sainte-Lucie, GF 305*, Merisiers, étaient tous morts. Les autres porte-greffes : *Saint-Julien, Brompton, Marianna GF 8-1*, Cognassiers et clones de pommiers porte-greffes d'*East Malling* poussèrent normalement. Aucune mortalité de racine ne fut à signaler, sauf quelques légers dégâts pour celles de *Saint-Julien* et *Brompton*, ne paraissant d'ailleurs pas compromettre leur avenir. 23 jours de submersion pendant la période de végétation n'ayant entraîné aucune anomalie visible sur le comportement des types suivants : *Marianna GF 8-1*, Cognassiers, nous nous trouvions dans l'obligation de reprendre notre étude pour ces mêmes types au cours de l'été 1962, en prolongeant la durée de submersion. Cette durée fut portée à 37 jours, du 24 juillet au 1er septembre.

Les observations concernant cet essai sont rassemblées dans le tableau 2. Ces résultats confirment ceux obtenus en 1961.

D'après nos observations, il semble que nous puissions classer ces différents types de porte-greffes en trois groupes de sensibilité décroissante :

| | |
|---|---|
| 1er groupe | Abricotiers (semis).<br>*Sainte-Lucie 39* (semis).<br>Merisier du commerce.<br>*GF 305* (semis de pêcher). |
| 2e groupe | *Saint-Julien*<br>*Brompton*<br>} assez voisins.<br>*EM IX*<br>*EM I.* |
| 3e groupe | *EM II*<br>*EM XIII.*<br>*GF 8-1.*<br>tous les cognassiers. |

### C. — *Essai de porte-greffes du genre* Prunus *appartenant aux types* Domestica *et* Myrobolan

Les essais précédents nous ayant apporté un certain nombre d'informations générales au niveau des genres, il nous a paru intéressant d'essayer de mieux con-

TABLEAU 2

*Observations effectuées sur des porte-greffes de genres et d'espèces très différents submergés durant 37 jours pendant la végétation*

| | 7e jour | 10e jour | 15e jour | 19e jour | 23e jour (16-8-62) | 30e jour | Printemps suivant |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Abricotier (semis) *Sainte-Lucie 39* (semis) | Feuilles noires et enroulées. | Apparemment morts. | | | | | Morts |
| Merisier du commerce | Feuilles brunissent. | Chute totale des feuilles. | | | | | Morts |
| *GF 305* (semis pêcher) | Feuilles ont légèrement tendance à s'enrouler. | Début chute de feuilles, enroulement. | Chute totale des feuilles. | | | | Morts |
| *Saint-Julien* | | Début de jaunissement du feuillage. | 3/4 des feuilles tombées. | Très atteint | Apparemment morts. | | Morts |
| *Brompton* | | | Début de chute seulement. | Atteint | Feuilles noircissant. | | Morts |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *EM IX* | | | Brunissement des feuilles adultes, chute du feuillage, apparition de lenticelles sur la partie des rameaux qui sont sous l'eau. | Très atteint | Chute de feuilles 100 %. | Dessèchement des plants. | Morts |
| *EM I* | | | Rougissement de feuillage presque généralisé, début de brunissement. | Atteint | Chute de feuilles 50 %. | 100 % chute de feuilles, léger dessèchement des extrémités. | Morts |
| *EM II* | | | Début de jaunissement de feuillage. | Intermédiaire entre le *I* et le *IX*. | Chute des feuilles presque totale. | Dans l'ensemble peu différent du *EM I*. | Poussent normalement. |
| *GF 8-1* | | | Les feuilles ont tendance à se mettre en gouttière. | Bonne tenue | Léger flétrissement, quelques brûlures marginales. | | *Idem* |
| *EM XIII* | | | Un seul plant sur 6 commence à jaunir. | Bonne tenue | Léger rougissement du feuillage. | Jaunissement total de feuillage, début de chute de feuilles. | *Idem* |
| *Cognassiers de Provence* | | | Très bonne tenue. | | Début d'enroulement. | Début noircissement du feuillage. | *Idem* |

naître le comportement d'espèces voisines, ou même de types distincts appartenant à une même espèce.

C'est la raison pour laquelle nous avons rassemblé, dans un des bacs aménagés, 2 clones de Prunier à croissance rapide, type *Myrobolan*, multipliés végétativement :

— Le *GF 8-1*, semis de *Marianna* (*Prunus Marianna*).

— Le *GF 31*, hybride *Myrobolan* × *Japonais* (*P. cerasifera* × *P. salicina*).

Dans une autre case, nous avons mis en comparaison 3 clones de Prunier à croissance lente, type *Domestica*, multipliés végétativement :

— Le *Saint-Julien*, clone *GF 655-2*.

— Le *Damas*, clone *GF 1869*.

— Le *Brompton*, clone anglais.

Le type de sol choisi comme support était constitué de sable de rivière.

La durée de submersion, qui fut de 43 jours pour les types *Domestica* (du 3 juin au 16 juillet), et de 69 jours pour les types *Myrobolan* (du 3 juin au 11 août), provoqua en fait des symptômes précis de dépérissement. Nous voulions voir si des sujets fortement atteints avaient une chance de survie.

Les observations concernant ces essais sont regroupées dans les tableaux 3 et 4.

Au printemps suivant, l'arrachage des plants s'est effectué le 25 mars 1965 et nous avons noté :

*Type* Domestica.

*GF 655-2* et *Brompton* (voir fig. 4). — Leur état est à peu près identique. 2 arbres sur 6 pour chaque lot ont manifesté un début de débourrement et quelques radicelles se sont développées au niveau du collet. On peut noter la mortalité à 100 p. 100.

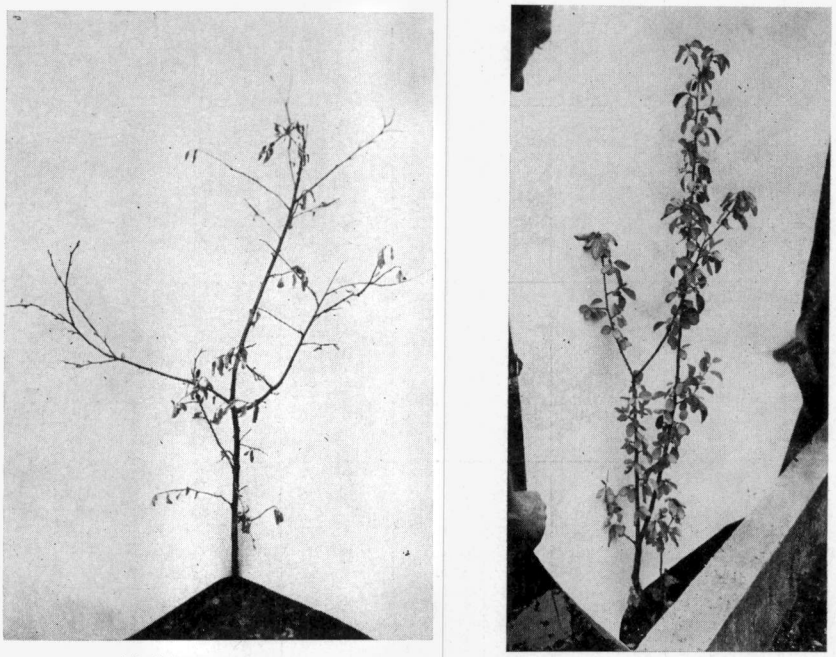


FIG. 3. — *A gauche*, Saint-Julien GF 655-2 ; *à droite*, Damas GF 1869, *après 35 jours de submersion* (du 3 juin au 8 juillet 1964)

TABLEAU 3

*Observations effectuées sur trois types distincts de l'espèce* Prunus domestica *soumis à la submersion durant 43 jours pendant la végétation*

| | 20e jour | 23e jour | 28e jour | 35e jour (fig. 3) | 43e jour | 50e jour | 100e jour | Printemps suivant |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Saint-Julien* | Jaunissement du feuillage, début d'enroulement des feuilles | Aggravation du jaunissement | Jaunissement total du feuillage, enroulement partiel. | Apparemment les arbres sont morts les feuilles sont sèches et 50 % sont tombées. | Pas de changement pour les 3 types; évacuation de l'eau. | Tous dénudés et apparemment morts. | Apparemment morts, arrêt total de la végétation. | Morts |
| *Prompton* | Début de jaunissement des feuilles. | *Idem* | Jaunissement généralisé, pas d'enroulement. | Début de chute des feuilles, 50 % de feuilles sèches. | | Reste encore 10 % des feuilles, mais paraissent aussi morts | | Morts |
| *Damas INRA GF 1869* | R. A. S. | R. A. S. | Quelques feuilles commencent à jaunir. | Environ 30 % des feuilles jaunes, émission de radicelles de 3 à 5 cm au collet. | | Les feuilles jaunes sont tombées, les arbres paraissent en excellent état. Arrêt de croissance. | Les six plants sont bien verts. | Poussent normalement. |

TABLEAU 4

*Observations effectuées sur deux types de pruniers à croissance rapide*
INRA G.F. *8-1* (*semis* de Marianna) *et* INRA G.F. *31* (*hybride* P. cerasifera × P. salicina)
*soumis à la submersion durant 69 jours pendant la végétation*

| | 35e jour | 43e jour | 50e jour | 69e jour (évacuation de l'eau) | 100e jour | Printemps suivant |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Feuillage jaunissant dans la partie intermédiaire, 50 % des feuilles présentent un brunissement marginal. | | | |
| *INRA GF 31* Hybride (*P. cerasifera* × *P. salicina*) | Début de rougissement de quelques feuilles. | Flétrissement des pousses, début de jaunissement. | | Flétrissement accentué, 90 % des feuilles sont jaunes. | Entièrement dénudé. | Morts |
| *INRA GF 8-1* (Semis de *Marianna*) | R.A.S. | *Idem* au *GF 31*, mais légèrement en retard. | Même phénomène légèrement moins marqué. | Flétrissement assez marqué mais environ 70 % des feuilles sont jaunes. | Environ 25 % des feuilles vert jaunâtre tiennent encore. | Poussent normalement. |

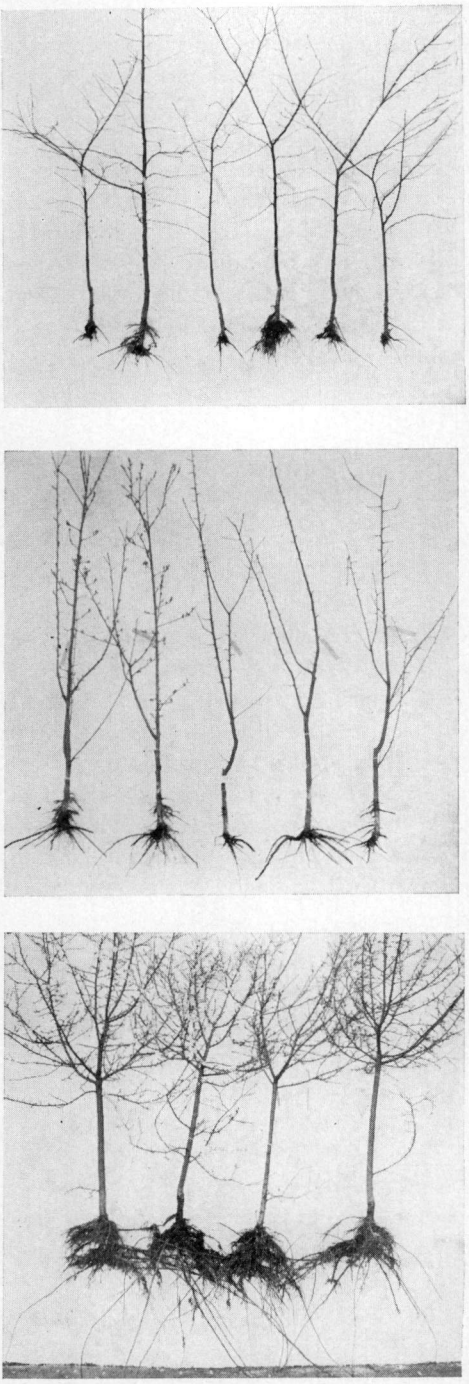


FIG. 4. — *Comparaison de 3 types de* Prunus domestica, *au moment de l'arrachage des plants, le 25 mars 1965, après 43 jours de submersion, du 3 juin au 16 juillet 1964*

en haut : *Saint-Julien GF 655-2* ; au milieu : *Brompton* ; en bas : *Damas GF 1869*

*Damas GF 1869* (voir fig. 4). — Les 6 arbres sont en parfait état : chevelu abondant, grandes racines saines. On observe simplement quelques racines brunes (non dégradées). La vie de ces plants ne paraît pas en être affectée.

*Type* Myrobolan.

*GF 8-1* et *GF 31* (voir fig. 5). — Les plants de *GF 8-1* sont en parfait état. Environ 1/10 des racines montre de faibles lésions, mais les symptômes ne sont pas très nets. Quant aux *GF 31*, ils sont tous morts et le système radiculaire est détruit.

Les résultats de cet essai montrent que pour des types voisins, il existe des différences de sensibilité assez marquées. Comme nous le verrons dans la discussion, ces observations confirment les notations effectuées dans certains vergers ayant souffert de l'excès d'humidité au cours de l'hiver 1960-1961.

## DISCUSSION

Ces essais, entrepris à la Station de Recherches d'Arboriculture fruitière de La Grande-Ferrade depuis 1957, nous ont fourni un certain nombre d'informations fort utiles.

1. Les tests de résistance à l'asphyxie, conduits dans des bacs aménagés, ont confirmé les observations des chercheurs américains. Ils ont également précisé et expliqué les résultats des observations réalisées en vergers soumis accidentellement à des conditions d'asphyxie (à la suite de la pluviométrie exceptionnelle de l'automne et de l'hiver 1960-61). Ces observations ont été analysées de façon détaillée par R. BERNHARD lors du Congrès pomologique d'Avignon en 1962. Rappelons cependant quelques-unes des notations effectuées dans des essais systématiques :

— *Essai porte-greffes* Reine-Claude, *âgé de 9 ans* (12 répétitions) *au domaine de Bourran* (*Lot-et-Garonne*).

*GF 8-1* : 1,08 \
*GF 31* : 3,91 / Notation de 1 à 9. 1 = arbre normal ; 9 = arbre mort.

— *Essai porte-greffes* Reine-Claude, (*Lot-et-Garonne*).

| | 1er Verger | 2e Verger |
|---|---|---|
| | — | — |
| *GF 8-1* ..... | 1,6 (32 arbres) | 2,1 (32 arbres) |
| *GF 31* ..... | 6,0 (10 arbres) | 7,8 (11 arbres) |

2. Ces essais en bacs nous ont permis d'obtenir la preuve qu'il existait une corrélation étroite entre la sensibilité à l'asphyxie hivernale et à l'asphyxie durant la période végétative.

Dans tous les cas, l'abricotier de semis est l'espèce anéantie la première, le *Sainte-Lucie* et le Pêcher arrivant ensuite.

Comme autre exemple, nous pouvons retenir celui fourni par les clones *GF 8-1* et *GF 31*, dont l'asphyxie en bacs a été obtenue durant la végétation, alors que les notations effectuées en vergers faisaient suite à une asphyxie hivernale.

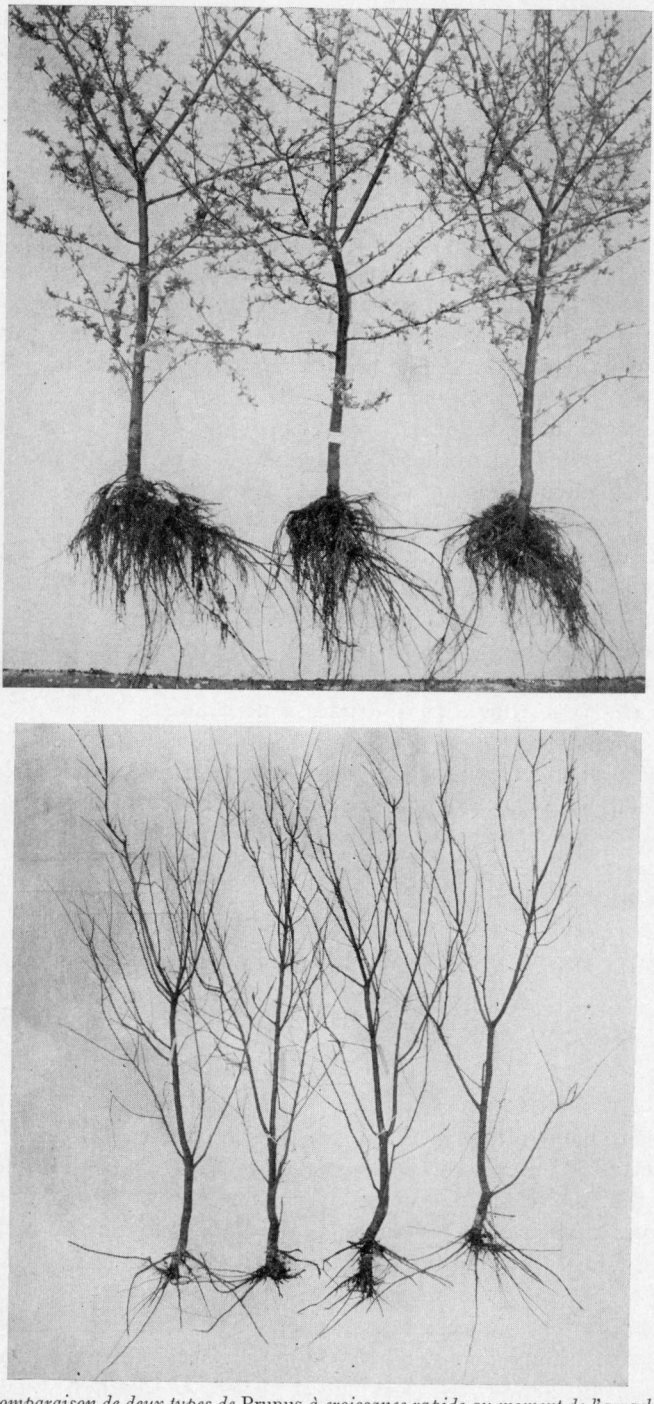


FIG. 5. — *Comparaison de deux types de* Prunus *à croissance rapide au moment de l'arrachage des plants, le 25 mars 1965, après 69 jours de submersion, du 3 juin au 11 août 1964*
— en haut : *Marianna GF 8-1* : excellent état ; — en bas : *Myrobolan GF 31*: tous morts

3. En ce qui concerne les porte-greffes présentant une homogénéité caractéristique (clone, lignée), le nombre de 6 plants que nous avions adopté au départ paraît suffisant et parfaitement valable. Les résultats obtenus en sont la preuve, et il n'est jamais arrivé de trouver, pour un même clone, un comportement différent d'un plant à l'autre. La seule différence enregistrée portait sur 2 lots de Merisier de semis du commerce, c'est-à-dire génétiquement hétérogènes, et pour lesquels l'un d'entre eux s'est montré plus sensible à l'asphyxie que l'autre.

4. Un dernier enseignement doit être tiré de ces essais : ils ont apporté la preuve que des porte-greffes très voisins au point de vue botanique pouvaient manifester une résistance à l'asphyxie sensiblement différente. Cette démonstration revêt une importance particulière dans le cas des pruniers utilisés comme porte-greffes du pêcher : pruniers *Damas*, *Saint-Julien*, *Brompton*, appartenant tous trois à l'espèce *Prunus domestica*. Jusqu'à présent, ils étaient utilisés indifféremment dans les terrains où l'emploi du semis de pêcher comme porte-greffe s'avère impossible, en particulier dans les terrains mal drainés. Or, nos essais ont mis en évidence de façon indiscutable la meilleure résistance du *Damas* à des conditions d'asphyxie très prolongées.

Ce porte-greffe, que l'on avait tendance à abandonner pour d'autres raisons (mauvais état sanitaire, en particulier) retrouve donc son intérêt. Parallèlement, la sélection sanitaire et génétique du prunier *Damas* voit sa justification et son importance nettement accrues.

Ceci démontre encore une fois l'intérêt de la sélection clonale et la nécessité de multiplier des types dont les aptitudes sont connues.

Il faut souligner également l'intérêt de la méthode des tests de résistance à l'asphyxie, qui présente l'avantage de pouvoir déterminer très tôt le comportement vis-à-vis de l'humidité de certains clones et de connaître ainsi ceux qui peuvent le plus facilement supporter des conditions de mauvais drainage plus ou moins prolongées.

Ces tests précoces prennent donc une importance primordiale ; ils faciliteront les travaux de sélection et permettront d'éliminer rapidement un type qui ne donnera pas les résultats escomptés, en évitant peut-être une expérimentation longue et coûteuse.

## CONCLUSION

Nous avons montré que la technique de submersion de jeunes plants porte-greffes permettait d'obtenir des informations valables concernant leur sensibilité à l'asphyxie radiculaire ultérieurement en verger.

Dans l'avenir, nous nous proposons de développer également certains tests sur plants greffés, dans le but d'étudier l'influence de l'espèce-greffon sur la résistance des racines.

Quelques notations réalisées dans des vergers de pommiers soumis à une longue période pluvieuse automnale ont montré la grande sensibilité de la variété *Richared* greffée sur *Malling Merton 104*, alors que la variété *Golden Delicious*, greffés sur ce même porte-greffe et dans les mêmes conditions de milieu s'est montrée nettement plus résistante.

Quelques expériences préliminaires ont également permis de constater que la résistance de la racine-prunier était plus forte si elle était greffée avec un prunier que si elle était greffée avec un pêcher.

En pépinières inondables, nous avons noté la réaction à l'asphyxie de la combinaison de greffes réciproques Pêcher × Prunier :

— les pêchers greffés sur pêchers ont eu la note 0/20 (tous morts) ;
— les pruniers greffés sur pruniers ont eu la note 20/20 (tous vivants) ;
— les pêchers greffés sur pruniers ont eu la note 17/20 ;
— les pruniers greffés sur pêchers ont eu la note 3/20.

Ceci démontre que la résistance de la racine-prunier est nettement plus forte que celle de la racine-pêcher, mais que la racine-prunier perd une partie de sa résistance lorsqu'elle supporte un pêcher.

Enfin, dans une dernière phase du travail, il s'agirait de déterminer à partir de quelle concentration en oxygène se produisent les accidents d'asphyxie.

*Reçu pour publication en juillet* 1966.

## SUMMARY

A METHOD OF DETERMINING THE RESISTANCE TO ROOT ASPHYXIA OF CERTAIN FRUIT-TREE STOCKS

This work aimed at an experimental study in controlled media of resistance to root asphyxia of the main fruit-tree stocks.

The projects to be tested were placed in river sand and supplied with a nutrient solution. By means of the studies undertaken it was possible to correlate winter asphyxia with asphyxia during the vegetative period.

A first series of tests permitted the main fruit-free stocks to be classified into three groups of fairly marked sensitivity.

The technique of submerging young stock plants confirmed results given in orchards fortuitously submitted to a long rainy period.

The early tests require subsequent extension but they would be a means of eliminating quickly the types which would not give satisfaction.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BERNHARD R., 1962. Comportement des porte-greffes des arbres fruitiers à noyau vis-à-vis des conditions d'asphyxie du sol : compte rendu d'essais et d'observations. *Congrès Pomologique* (92e Session, Avignon), p. 29-44.

BOYNTON D., COMPTON O. C., 1943. Effects of oxygen pressure in serated nutrient solution on production of new roots and on growth of roots and tops by fruit trees. *Proc. amer. Soc. hortic Sci.*, **42**, p. 53.

BOYNTON D., VILLIERS J. de, REUTHER W., 1938. Are there different critical oxygen concentrations for the different phases of root activity. *Science*, **88**, 567-70.

CAVAILLE A., 1964. L'asphyxie des racines en arboriculture fruitière. *Bull. tech. Inform. Ingrs. Serv. agric.*, **189**, 345.

CRESCINI. 1940. Sulla respirazione dell aparato radicale delle piante coltivati. *Soc. Bot. ital. Firenze*, XVIII. p. 96.

DAY L. H. Rootstocks for stone fruit.

JACKSON W. I., 1955. The role of adventitions roots in recovery of shoots following flooding of the original root systems. *Amer. J. Bot.* **42**, 816.

KRAMER P. J., 1951. Causes of injury to plants resulting from flooding of the soil. *Plant Physiol.*, 722.

MARTH P. C., GARDNER F. E., 1939. Evaluation of variety peach seedling stocks with respect to « wet feet » tolerance. *Proc. amer. Soc. hortic. Sci.*, **37**, 335-37.

MILLER. Oxygen supply and root development. *Plant Physiol.*

SHANKS J. B., LAURIE A., 1949. Rose root studies : Some effects of root aeration. *Proc. amer. Soc. hortic. Sci.*, **54**, 485.

*Ann. Amélior. Plantes*, 1966, **16** (4,) 385-409.

# LA RÉSISTANCE A L'OÏDIUM (*ERYSIPHE GRAMINIS AVENÆ* MARCHAL) ET LA SÉLECTION DE L'AVOINE

L. DEGRAS [1]

*Station centrale de Génétique et d'Amélioration des Plantes, Centre national de Recherches agronomiques, 78 – Versailles*

SOMMAIRE

La sensibilité à *Erysiphe graminis avenae* MARCHAL est un grave défaut de l'Avoine en France. Elle peut être corrigée à l'aide de géniteurs appartenant à l'espèce *A. sterilis* (incl. *A. byzantina*). L'infection contrôlée en serre, sur plantule, facilite et complète la sélection au champ. L'inoculum de Versailles est distinct de celui du pays de Galles et s'apparenterait à celui des États-Unis. La résistance de la variété *Rouge d'Algérie* est bigénique dominante. L'hypersensibilité n'est peut-être pas le seul processus responsable des résistances observées.

## I. — INTRODUCTION

La réduction des superficies cultivées en Avoine est une tendance mondiale générale. Due à plusieurs causes, dont la mécanisation des cultures et la compétition accrue avec d'autres céréales en particulier, cette réduction accompagne aussi un plus grand souci de rentabilité dans la culture de l'Avoine elle-même. D'où l'affinement des techniques culturales, la recherche de variétés plus productives et celle d'une meilleure régularité des rendements à partir de résistances génétiques aux accidents climatiques ou parasitaires. En France, la sélection de l'Avoine a, sur ce dernier plan, un certain retard. Le nombre de variétés cultivées qui bénéficient d'une résistance assez élevée au charbon est bien faible. La résistance à la rouille couronnée y est exceptionnelle... D'importants travaux ont entrepris de combler les déficiences de nos variétés à l'égard de ces parasites. Ils ont fait l'objet de deux mémoires de C. MOULE (1955, 1957). Parmi les autres maladies d'importance variable, mais reconnue (MOULE, 1964), l'oïdium et la septoriose n'ont fait l'objet d'aucune analyse

[1] Adresse actuelle : Station d'Amélioration des Plantes, Centre de Recherches agronomiques des Antilles, Petit-Bourg, Antilles.

des conditions biologiques dans lesquelles s'exerce la sélection. Il paraît prématuré de le faire pour la septoriose dont l'étude n'est qu'amorcée. Les premiers résultats obtenus dans la sélection à l'égard de l'oïdium et dans la caractérisation de la résistance à cette maladie autorisent par contre la présentation d'un ensemble de données susceptibles de mieux orienter la poursuite du travail d'amélioration de l'Avoine en France.

## II. — DONNÉES GÉNÉRALES SUR LE PARASITE

Les oïdium sont signalés déjà du temps de Linné. L'hérédité de la résistance à la maladie fut démontrée dès 1907 chez l'Orge (BIFFEN, NILSSON-EHLE *in* FAVRET). Aussi, le grand nombre d'études réalisées sur les agents de cette maladie, et dont une revue a récemment été faite par YARWOOD (1957) nous dispensera-t-il d'une présentation circonstanciée. Nous nous bornerons à rappeler les données biologiques les plus propres à éclairer les problèmes du comportement génétique de l'Avoine.

### A. — BIOLOGIE D'« ERYSIPHE GRAMINIS » ET DE L'HÔTE SENSIBLE

#### 1. *Extension du parasite et importance agronomique*

*Erysiphe graminis* DC est signalé chez toutes les Graminées à l'exception de cinq tribus : Maydeae, Andropogoneae, Zoysieae, Paniceae, Oryzeae (DICKSON J. G., 1947, p. 25). Son aire géographique est à la mesure de son adaptation biologique. Chez l'Avoine, cet oidium est connu aussi bien en Argentine qu'au Danemark, dans les pays méditerranéens comme dans les plaines canadiennes.

Mais l'importance agronomique de la maladie semble très inégale au sein de cette aire. Sur l'ensemble du continent américain, elle est loin d'atteindre la gravité des rouilles (CHEREWICK, 1944 ; VALLEGA et FAVRET, 1947 ; LUKE et *al*, 1957). Il paraît en être de même dans le bassin méditerranéen. Par contre, l'Europe nord atlantique est davantage affectée par l'oïdium dont les dégâts les plus sévères chez l'Avoine sont signalés en Bretagne par MOULE (1964) et dans le Pays de Galles par GRIFFITHS (1958-1960). En comparant les rendements de variétés sensibles et résistantes, en années avec et sans infection, ce dernier auteur montre la possibilité d'un déficit de plus de 30 p. 100 pour des attaques nullement exceptionnelles dans ces régions. Il observe en outre une casse importante des chaumes qu'il attribue au ralentissement de la maturation consécutive au parasitisme, ce ralentissement permettant l'installation de saprophytes responsables directs de cette casse.

#### 2. *Type et exigences biologiques du champignon*

Les caractéristiques essentielles du champignon et de ses incidences agronomiques découlent de la *spécificité* de ce parasitisme, de la différenciation en *races* du parasite, de sa localisation *épidermique* et de la nature *obligatoire* de ce parasitisme. Nous allons brièvement préciser ces différents aspects.

a) *Erysiphe graminis avenae* parasite spécifique.

C'est en 1902 que MARCHAL établissait l'existence d'une forme *avenae* infectant seule les *Avena* et *Arrhenatherum elatius*, n'infectant pas les *Hordeum, Secale, Triticum, Agropyrum, Bromus, Poa*. Les travaux ultérieurs (SALMON, 1908 ; REED, 1920 ; HARDISON, 1945), devaient confirmer cette spécificité et accroître le nombre de genres non réceptifs, le genre *Trisetum* seulement étant nouvellement admis parmi les hôtes possibles (HARDISON, 1945).

b) *Erysiphe graminis avenae* parasite différencié.

Dès 1908, SALMON (*in* HARDISON) soupçonne à travers les spectres d'infection différents d'inoculum récoltés sur *A. sativa* et sur *A. sterilis*, l'existence d'une différenciation au sein de la forme *avenea*. HARDISON, en 1945, chiffre avec précision à l'aide de l'échelle de notation de MAINS et DIETZ (1930) des niveaux de sensibilité distincts de plusieurs hôtes pour deux souches isolées à partir de différentes *Avena*. Enfin, en 1963, CATLING et HAYES publient une liste d'hôtes différentiels, issue des travaux de GRIFFITHS, et dont l'utilisation établit l'existence de trois races d'*Erysiphe graminis avenae* dans le Pays de Galles. La possibilité d'hybridation entre ces races est soulignée par HARDISON avec toutes ses conséquences éventuelles dans l'évolution des spécialisations parasitaires. A notre connaissance, il n'a pas encore été signalé de mutant parmi les races de ce parasite.

c) *Erysiphe graminis* parasite épidermique.

La localisation superficielle des Érysiphacées n'a été démentie que très exceptionnellement et chez l'Orge seulement, où des hyphes profondes sont signalées (VIENNOT-BOURGIN). Cette localisation épidermique entraîne une dépendance considérable du développement du mycélium à l'égard du climat et du micro-climat.

L'effet de l'humidité est souvent invoquée sans que les résultats des études précises soient toujours, au moins dans le détail, concordants. Les travaux très soigneux de CHEREWICK (1944) semblaient avoir bien établi la possibilité d'une germination notable des conidies et d'un taux d'infection élevé en présence d'une faible humidité relative. Et pourtant ceux de GRAINGER (1948) tendent à faire admettre la nécessité d'une humidité relative supérieure à 70 p. 100 pour la germination des conidies, et la liaison des infections importantes avec les périodes d'humidité élevée. Le point commun entre les études les plus soigneuses, souligné par YARWOOD (1957), est la réduction et même la suppression des germinations et des infections en milieu d'humidité maximum constante et tout particulièrement au contact de l'eau.

Les différences de résultats quant au rôle de l'humidité doivent être attribuées pour une bonne part aux interactions entre ce facteur et d'autres facteurs climatiques tels que la chaleur. CHEREWICK a montré qu'à une variation de température de 6 à 18°C correspond une baisse du taux de germination des conidies, la réduction étant beaucoup plus sensible à 100 p. 100 qu'à 0 p. 100 d'humidité relative.

Le rôle de la température dans le développement du mycélium paraît très complexe. La germination des conidies s'observe de 0 à 35°C (CHEREWICK). L'optimum semble assez distinct pour la germination des conidies (+ 12°C) et la croissance du tube germinatif (+ 21°C) selon GRAFF-MARIN (*in* VIENNOT-BOURGIN). Dans ces

conditions, l'extension de la maladie bénéficie d'une température intermédiaire : CHEREWICK observe une infection plus rapide à 26° qu'à 18°C, mais un bien meilleur développement du champignon et de la maladie à cette dernière température. Les effets les plus généraux et les plus certains de la chaleur sont dus à l'amplitude de ses variations. Les fortes variations quotidiennes de part et d'autre de l'optimum favorisent la rapidité de l'infection, le développement de la maladie et la formation des périthèces (CHEREWICK, YARWOOD).

Les effets de l'alternance nycthémérale des variations de température n'ont pas été dissociés de ceux de l'éclairement. YARWOOD montre que chez *E. polygoni*, la durée d'éclairement optimale pour la croissance des hyphes est de 12 heures par 24 heures. CHEREWICK obtient la note d'attaque maximum en jour de 13 heures. Suivant cet auteur, la lumière n'accroît la germination des conidies qu'en dessous de 25°C. YARWOOD rappelle d'autre part l'existence d'un cycle dans l'émission des conidies qui est maximale vers midi. L'intervention de la durée d'éclairement dans le développement de l'oïdium paraît ainsi bien établie.

d) *Erysiphe graminis* parasite obligatoire.

L'infection d'un hôte sensible se produirait 5 à 7 heures après la contamination. Le tube germinatif, après s'être renflé en *appresorium*, émet alors à travers la *cuticule* une hyphe de pénétration qui se déploie en suçoir digité (*haustorium*) dans le cytoplasme de l'hôte. La croissance du mycélium et son évolution vers la sporulation sexuée sont fonction de ce milieu nutritif qu'elles conditionnent aussi.

L'activité parasitaire aboutit chez l'hôte sensible à des élévations locales de la transpiration et de la respiration qui conduisent plus ou moins vite à la mort du tissu infecté suivant l'aptitude de la plante à compenser ses pertes. L'infection implique très vite la participation du métabolisme de la plante entière. Les infections graves réduisent aussi la photosynthèse nette et conduisent à l'échaudage parasitaire. Dans certains cas, (YARWOOD, 1957) on aurait observé des aspects symbiotiques dans les relations hôte-oïdium. Cette observation est à rapprocher du ralentissement de la maturation mentionné par GRIFFITHS (1960).

## B. — NIVEAUX, FRÉQUENCE, ORIGINE DES RÉSISTANCES

La notation des réponses à l'infection utilise fréquemment, mais non exclusivement, l'échelle de MAINS et DIETZ (1930) allant de 0 à 4. Une infection moyenne (+ 2) y est l'expression d'une faible résistance ou d'une faible sensibilité indifféremment, la résistance s'accroissant de la note 2 à la note 0, la sensibilité de 3 à 4. L'importance du développement du mycélium est le principal critère. L'apparition de chloroses et de nécroses le complète. En fait, l'ensemble des notations se ramène à l'estimation de la proportion de la surface foliaire infectée.

### 1. *Les résistances apparentes*

Les conditions écologiques défavorables au parasite, les particularités de développement de l'hôte peuvent masquer la sensibilité de celui-ci. L'absence d'infection au champ chez certaines plantules contraste avec leur attaque en serre sans infection

artificielle, à la même époque. DENTLER (1958) a montré, pour *E. graminis hordei*, le rôle de l'alimentation potassique jointe à des conditions climatiques défavorables : dans certaines résistances il peut y avoir épaississement de la cuticule, « tassement » cellulaire périphérique et plus grande efficience des chloroses et des nécroses dans l'arrêt de la maladie.

### 2. *La résistance vraie*

L'étude des réactions de résistance à *E. graminis* place celles-ci au niveau du cytoplasme (CHEREWICK). Il y aurait toujours pénétration à travers la cuticule avec seulement des possibilités de ralentissement mécanique. C'est la transformation du tube germinatif en suçoir qui est bloquée plus ou moins précocement, avec ou sans nécrose de la cellule infectée. On relie en général (CHEREWICK, DENTLER, NILAN, etc.) la rapidité d'apparition des nécroses à l'efficacité de la résistance, que l'on attribue à des processus d'hypersensibilité. L'intervention d'actions à distance est admise (YARWOOD).

L'étude génétique de la résistance à *E. graminis* a fait l'objet d'un grand nombre de travaux chez l'Orge (NILAN, 1963). Moins importants chez le Blé, ils se réduisent, chez l'Avoine, aux recherches de la Station d'Aberystwyth (GRIFFITHS, JONES, HAYES, CATLING) et à quelques inventaires des réponses variétales effectués aux États-Unis. La résistance, dans la plupart des cas, est donnée comme mono — ou bigénique. Elle peut être dominante (cas le plus fréquent) ou récessive. L'analyse cytogénétique et le recours aux mutations chez l'hôte, la dissociation des biotypes d'*E. graminis* permettent une représentation précise de la répartition des gènes de résistance chez l'Orge. Treize sur quatorze loci seraient situés sur le chromosome V, le long d'un segment isophénique de 45-50 unités de *crossing-over* (FAVRET, 1959). Les dernières études (*in* NILAN, 1963; MOSEMAN, 1964) retiennent la conception « gène pour gène » dans laquelle une réaction parasitaire élémentaire implique la participation d'un gène de virulence/a-virulence du parasite et d'un gène de résistance/sensibilité de l'hôte. En fait, d'étroits *linkages*, ou l'existence de complexes géniques (FAVRET, 1959) conduisent souvent à des réactions qui ne demeurent oligogéniques qu'en première approximation.

### 3. *Les géniteurs de résistance*

L'inventaire des possibilités de résistance à *E. graminis* dans le genre *Avena* a commencé dès 1908 avec les recherches de SALMON (*in* HARDISON, 1957). REED (1920) met le premier en évidence des différences de taux d'infection. Les espèces sauvages vivaces *A. bromoides* et *A. sempervirens* sont trouvées immunes. Des infections moyennes sont observées chez *A. strigosa*, *A. pubescens* et *A. pratensis*. Les taux d'infection maximum sont atteints avec *A. sativa* (51 variétés), *A. byzantina* (15 variétés) et diverses espèces sauvages (*A. brevis*, *A. fatua* etc.). En 1945, HARDISON signale des niveaux de sensibilité distincts (notes 3 et 4 de l'échelle de MAINS et DIETZ) au sein des espèces *A. sativa* et *A. byzantina*. Mais, c'est en 1952 que JONES et GRIFFITHS publient leurs remarquables résultats dans l'étude et l'utilisation de la résistance variétale à *E. graminis*. Des niveaux de résistance intéressants sont reconnus chez des hybrides sélectionnés d'*A. sativa*. Seules, *A. strigosa*, var. *glabrata* et var. *hirtula*, sont notées immunes (0). Les inventaires assez fournis réalisés sur des épidémies occasionnelles par FINKNER, MURPHY et ATKINS (1953), SCHAFFER et

CALDWELL (1953), ROSSEN (1957), LUKE, CHAPMAN et WALLACE (1957) permettent d'envisager quelques aspects généraux des Avoines résistantes à *E. graminis*.

FINKNER, MURPHY et ATKINS ont examiné 4 279 lignées des collections d'Avoine de l'Iowa. Elles sont assez représentatives du matériel génétique actuellement disponible chez cette céréale. Sur ce nombre de lignées, aucune n'a été notée 0 (échelle MAINS et DIETZ). 59 lignées ont été notées de 1 à 2 +. Les auteurs soulignent la répartition singulière de ces lignées résistantes : 1 *A. strigosa*, 6 *A. sativa*, 52 *A. byzantina*.

Les collections testées par les autres auteurs nord-américains ont un grand nombre de variétés en commun avec celles de l'Iowa. LUKE, CHAPMAN et WALLACE enregistrent la conformité satisfaisante de toutes ces notations. Deux caractéristiques en ressortent.

En premier lieu, la fréquence des lignées résistantes semble très inférieure à 2 p. 100 et si l'on tient compte d'une assez grande parenté de plusieurs géniteurs de ces collections, elle avoisine plutôt 1 p. 100. Cette fréquence est identique à celle admise pour les géniteurs de résistance à *E. graminis* chez l'Orge (FAVRET, 1959).

En second lieu, la constitution du groupe des lignées résistantes est remarquable. *A. byzantina* en fournit la presque totalité. Ce sont aussi des lignées apparentées à cette espèce ou à l'espèce sauvage très proche *A. sterilis* qui fournissent le matériel résistant d'Aberystwyth (JONES et GRIFFITHS). La grande espèce *A. sterilis* (incl. *A. byzantina*) semble être la principale réserve de gènes de résistance des Avoines cultivées à *E. graminis*. L'amélioration de l'Avoine à cet égard implique des processus d'introgression spécifique analogue à ceux mentionnés par ÉCOCHARD chez le Blé (1961). Ces processus seront encore plus importants si l'on envisage l'acquisition des facteurs de résistance reconnus chez l'espèce diploïde *A. strigosa* : l'immunité y a été observée par des chercheurs américains et britanniques.

## III. — ÉTUDES ET SÉLECTIONS ENTREPRISES A VERSAILLES POUR LA RÉSISTANCE DE L'AVOINE A L'OÏDIUM

Dans une récente monographie, MOULE (1964) a résumé ses observations sur le comportement des variétés françaises à l'égard de l'oïdium. Plusieurs années de notation ont permis un classement où des niveaux de sensibilité sont distingués mais où une seule variété est tenue pour résistante : la lignée de *Rouge d'Algérie* sélectionnée à Versailles. C'est à l'aide de cette lignée que l'amélioration du matériel variétal local, à l'endroit de l'oidum, avait été entreprise par MOULE vers 1954. Le perfectionnement agronomique des descendances fut recherché par croisement avec des hybrides résistants aux rouilles. Le traitement de ce nouveau matériel en serre fournit l'occasion d'observations nouvelles sur la résistance à *E. graminis* qui conduisirent à une technique de sélection plus sûre.

### A. — L'UTILISATION AU CHAMP DE LA LIGNÉE « ROUGE D'ALGÉRIE »

#### 1. *Le géniteur. — Le mode de transmission de sa résistance*

La lignée de *Rouge d'Algérie* utilisée à Versailles est une sélection fort ancienne dans une population méditerranéenne d'*A. byzantina*. Dès 1927, elle intervenait dans

des croisements réalisés par CRÉPIN (CHEVALIER *in litt.*, *cf* aussi CREPIN, BUSTARRET et CHEVALIER, 1938). Mais sa grande sensibilité au froid, à la verse, et sa faible productivité auraient entraîné son abandon, n'eût été sa résistance au champ à *Erysiphe graminis*, absolue et unique parmi les variétés françaises. Très peu alternative, on lui reconnaît, par contre, une grande précocité, une amande très grosse en semis d'automne, une bonne résistance au charbon et à certaines races de rouille couronnée (MOULE, 1955, 1957).

Cette lignée fut croisée avec *Avoine d'hiver du Prieuré* (en 1954, 1957, 1961), avec la variété de printemps *Ariane* (1956), et la lignée *96* du croisement *Garry* × (*Aigle* × *Markton* — *Binder*) *45* (1960). Dans tous les cas, sa résistance à l'oïdium s'avéra héréditaire. L'analyse de cette résistance a été effectuée dans deux croisements

a) *Avoine d'hiver du Prieuré* × *Rouge d'Algérie.*

Le croisement fut réalisé en serre dans l'hiver 1961-1962. La $F_1$ cultivée au printemps 1962 présenta un développement de l'oïdium noté 1, tandis qu'on notait *Rouge d'Algérie* : 0 et *Avoine d'hiver du Prieuré* : 3-4 (Échelle de MAINS et DIETZ). La résistance manifestait ainsi une dominance partielle. Le 21 mai 1963, pour bénéficier des infections plus régulières et fortes en semis tardif de printemps, 128 plantes $F_2$ furent semées après une vernalisation permettant la limitation de l'interaction éventuelle entre type de développement et réponse à l'infection. Le 5 août, ce matériel offrait les caractéristiques réunies dans le tableau 1.

TABLEAU I

*Observation d'une* $F_2$ : Avoine d'hiver du Prieuré × Rouge d'Algérie
(Nombre de plantes par classe)

| Stade de végétation au 5-8-64 | Comportement vis-à-vis de l'oïdium | | | | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| | Note 0-1 résistante | Intermédiaires | | Note 4 sensible | |
| | | Note 2 résistante | Note 3 sensible | | |
| Épiaison ..... | 8 | 9 | 8 | 7 | 32 |
| Fécondation ..... | 16 | 24 | 14 | 14 | 68 |
| Maturation ..... | 7 | 15 | 4 | 2 | 28 |
| Total ..... | 31 | 48 | 26 | 23 | 128 |

On constate que le stade de végétation n'influe pas sur la manifestation de la maladie en vérifiant l'indépendance des distributions ($P_{(\chi^2)}$ non significatif). Deux modèles géniques rendent compte des effectifs totaux observés.

1° Un premier modèle, bifactoriel, avec la distribution théorique 4 : 6 : 3 : 3, s'adapte aux classes phénotypiques avec un $\chi^2 = 1{,}5$ d'une probabilité de 0,7[illegible] implique :

— un gène (A) dominant pour la résistance, conditionnant la [illegible] male : AA entraîne toujours celle-ci.

— Un gène (B) également dominant pour la résistance, mais développant une résistance moins élevée : *bb* entraîne la sensibilité la plus grande ; les intermédiaires se classent suivant la contribution de A.

2° Un second modèle bifactoriel nécessite le groupement des classes ayant les notes 3 et 4. La distribution théorique 5 : 6 : 5 est alors recevable avec un $\chi^2 = 4{,}05$ dont la probabilité est de l'ordre de 0,15. Elle suppose deux couples d'allèles à action complémentaire et additive. La résistance y serait partiellement dominante. Les génotypes ayant trois allèles récessifs conduiraient à un phénotype totalement sensible.

b) *Ariane* × *Rouge d'Algérie.*

Ce matériel a été observé en culture normale de printemps (1959) à la génération $F_3$. La sélection en $F_2$ avait été limitée. On peut admettre qu'elle n'a pas modifié les proportions génétiques en ce qui concerne la résistance à *E. graminis*. Deux observations successives, effectuées entre la fécondation et la maturité pour éliminer les interactions avec le stade de végétation, permettent d'établir la répartition de 280 lignées donnée au tableau 2.

TABLEAU 2

*Observation et interprétation de la résistance à l'Oïdium d'une* $F_3$ Ariane × Rouge d'Algérie

| Observation | Note | 0-0,5 | 1-2 | 2 + | Total |
|---|---|---|---|---|---|
| | Classe | *Rouge d'Algérie* | Intermédiaire | *Ariane* | |
| | Effectif observé | 72 | 107 | 101 | 280 |
| Interprétation | Effectif théorique | 87,5 | 105,0 | 87,5 | 280 |
| | Génotypes $F_2$ | AABB<br>AA*B*b<br>A*a*BB | AA*bb*<br>A*a*B*b*<br>*aa*BB | A*abb*<br>*aa*B*b*<br>*aabb* | 9 |

Les effectifs obtenus peuvent s'interpréter avec le modèle bifactoriel 5 : 6 : 5 dont le $\chi^2 = 4{,}88$ a une probabilité de 0,10 environ. En dépit de la faiblesse de cette probabilité due peut-être au niveau très moyen de l'infection, la cohérence d'une telle interprétation avec le second modèle invoqué pour le croisement précédent est remarquable.

En conclusion de ces deux analyses, on peut admettre que la résistance à *E. graminis* de *Rouge d'Algérie* est transmise avec la contribution de deux gènes partiellement dominants. Son expression finale ne paraît pas liée au stade de végétation.

### 2. *Les dérivés directs de* Rouge d'Algérie

L'obtention directe de lignées résistantes entièrement dépourvues des inconvé-
*Rouge d'Algérie* s'est révélée impossible. Un résultat positif marquant de-
on d'un matériel assez peu sensible à la verse, à grain noir moins gros-
r a pu être établie en épidémie naturelle d'oïdium.

Le rôle de l'oïdium dans l'infériorité d'*Ariane* à Rennes ressort clairement du graphique 1. Le déficit du rendement de la variété sensible peut être évalué à 40 p. 100 environ. Des essais ultérieurs, en bonne condition, font admettre une productivité de ce matériel égale à 85-90 p. 100 de celle d'*Ariane*.

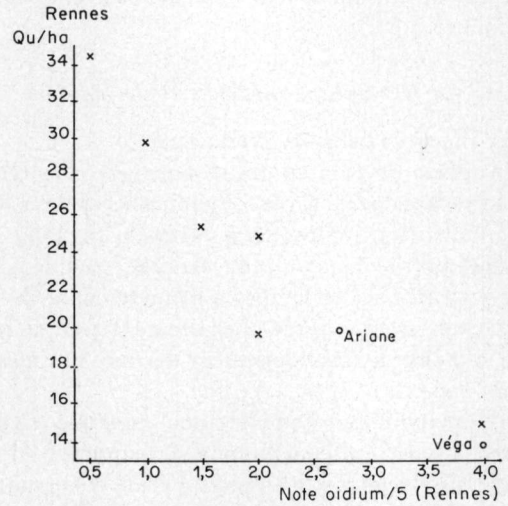



FIG. 1. — *Hybrides* Ariane × R. d'Algérie
Oïdium et rendement à Rennes (1961)

Les résultats négatifs de la sélection sont principalement la mauvaise fixité des hybrides et la faiblesse de leur système chlorophyllien.

Chez les lignées présentant une association intéressante des caractères parentaux, la fixation de caractères très variés peut être incomplète même à la $F_8$. Les disjonctions les plus aberrantes entraînent l'apparition de plantes débiles, gazonnantes, plus ou moins stériles. Dans plusieurs croisements, environ 30 p. 100 des lignées $F_3$ présentaient ces plantes anormales. Les contrôles cytologiques (effectués à Versailles sous la direction de S. ESSAD) ont mis en évidence, dans des matériels apparentés à ces plantes anormales, la formation de micronoyaux à la télophase II des gamètes mâles.

La fréquence des insuffisances de l'appareil chlorophyllien dans ce matériel constitue un autre défaut. Dans le meilleur des cas, chez le matériel résistant à l'oïdium, il y a sénescence précoce du feuillage. Enfin dans les croisements *Avoine d'hiver du Prieuré* × *Rouge d'Algérie*, aucune lignée associant une résistance au froid simplement moyenne à une certaine résistance à l'oïdium n'a pu être obtenue.

### 3. *Les croisements de second cycle*

Ces croisements devaient utiliser deux lignées : (*Ariane* × *Rouge d'Algérie*) *15* et (*Ariane* × *Rouge d'Algérie*) *187*. La seconde se révéla très sensible à *Puccinia graminis*. Son utilisation fréquente pour la multiplication de cette rouille permit d'observer sa résistance à l'oïdium en serre, à un certain stade, fait nouveau qui orienta la suite des recherches.

## B. — Étude et utilisation de la résistance a l'oïdium en serre

La valeur de la résistance observable en serre fut d'abord contrôlée par l'examen de matériels fixés, au comportement bien établi au champ. L'observation en serre fut ensuite appliquée au matériel en disjonction déjà étudié au champ, puis au matériel hybride à sélectionner.

### 1. *La technique d'infection et de notation*

Les semis étaient effectués dans des terrines de 30 × 30 × 7 cm, en lignes distantes de 3 à 5 cm, à raison de 10 à 20 grains par ligne. Ces terrines contenant un mélange de terreau, terre franche et sable, étaient placées dans des bacs permettant l'apport d'une solution nutritive de Bosquet à partir du 15e jour. En plus de l'éclairement naturel qui pénétrait facilement, un éclairage complémentaire utilisait des tubes fluorescents de 40 watts et des lampes à incandescence de 120 watts pour une valeur d'environ 2 500 lux/m². La durée d'éclairement par 24 heures était de 14 à 18 heures, suivant la rapidité de développement désirée. Les cultures ont eu lieu de septembre 1963 à juin 1964.

La température ne pouvait être complètement contrôlée. En hiver, la moyenne oscillait autour de 18°, l'écart entre maximum et minimum étant de 12° environ. Au printemps, la moyenne etteignit 25° environ, l'écart entre maximum et minimum dépassant parfois 15°.

L'humidité fut occasionnellement renforcée au printemps à l'aide d'un humidificateur « Defensor » sans jamais aller au-delà de 80 p. 100 d'humidité relative.

Au cours de ces différentes études la technique de contamination demeura la même : agitation quotidienne de plantes infectées au-dessus des plantules, de la levée à l'apparition des premiers mycéliums ; pour l'infection d'un matériel abondant, un ventilateur ordinaire assurait la dispersion constante de l'inoculum émis par l'hôte infecté. Une variété très sensible, *Starblonde*, était placée, en témoin, dans chaque terrine.

Dans ces conditions, l'apparition du mycélium intervient 6 à 11 jours après la contamination. Les notations commencent quinze jours à trois semaines après le semis, les observations les plus sélectives étant souvent obtenues entre trois et quatre semaines après la levée. Les plantules ont alors 3 à 5 feuilles visibles. Les notations, dans l'ensemble, sont toujours transcrites dans l'échelle de Mains et Dietz. Mais l'observation directe est plus commode dans l'échelle décimale de 0 = pas d'infection, à 10 = totalement infecté. Des symptômes annexes tels que nécrose, chlorose, rougissement, flétrissement, dessèchement ainsi que leur valeur relative à différents étages du système foliaire sont souvent relevés.

### 2. *Observation de variétés témoins et de géniteurs de résistance*

Le matériel suivant a constitué le premier banc d'essai dans l'étude de l'oïdium en serre :

*a*) Trois variétés utilisées comme témoin de sensibilité à *E. graminis* dans la cotation d'inscription au Catalogue officiel français des Variétés : *Rouge d'Algérie*, *Garry* et *Pégase*.

*b*) Quatre lignées utilisées comme géniteurs de résistance aux maladies : les lignées *15* et *187* du croisement (*Ariane X Rouge d'Algérie*), *761* du croisement (*Bonham X Ariane*), *96* du croisement (*Garry X* (*Aigle X Markton-Binder*) *45*).

*c*) La variété *Ariane*.

Les caractéristiques de ces lignées sont données au tableau 3. En dehors de *Pégase*, elles étaient toutes impliquées dans des croisements susceptibles d'une sélection à l'égard de l'oïdium en champ.

Le matériel était disposé en cinq répétitions de type « bloc ». Chaque répétition comportait les huit lignées en observation disposées au hasard, chacune entre deux lignes de *Starblonde*.

La réponse à l'infection a été notée de 0 à 10, plante par plante et, dans certaines répétitions, feuille par feuille, le total étant constitué en pourcentage des notes établies pour les lignes adjacentes de *Starblonde*.

TABLEAU 3

*Caractéristiques au champ et en serre de lignées témoins et de géniteurs*

| Lignées | Particularités | Sensibilité à l'Oïdium | |
|---|---|---|---|
| | | Au champ | En serre % *Starblonde* |
| (*A* × *R. A.*) *187* | Moins précoce qu'*Ariane* | Très résistante | 35,1 |
| *R. d'Algérie* | Voir le texte page 390 | Hautement résistante | 37,2 |
| (*A.* × *R.A.*) *15* | Très précoce | Résistante | 54,5 |
| *Ariane* | Géniteur de productivité | Assez sensible | 67,6 |
| (*B.* × *A.*) *761* | Résistante au charbon et à la rouille couronnée | Très peu sensible | 76,1 |
| (*G.* × *AMB.*) *96* | Résistante au charbon et à la rouille couronnée | Sensible | 79,8 |
| *Garry* | Résistante au charbon et à la rouille cour. ; témoin | Peu sensible | 86,3 |
| *Pégase* | Témoin | Sensible | 88,8 |
| *Starblonde* | *Soleil II* × *Overland* Témoin d'infection | Très sensible | 100 |

*N. B.* — Les traits gras verticaux joignent les lignées statistiquement équivalentes.

L'infection moyenne de celle-ci correspondrait à la note 3-4 de l'échelle de MAINS et DIETZ. Pour l'analyse, les pourcentages ont été transformés à l'aide de la table de Bliss. Les moyennes de ces valeurs transformées sont données au tableau 3.

L'analyse de la variance conduit a une plus petite différence significative égale à 18,3. Les groupes de sensibilité sont indiqués au tableau 3. Le matériel le plus résistant au champ est bien le moins sensible en serre. Par contre, les degrés de sensibilité au champ n'y sont pas exactement reproduits. En particulier, si, en valeur abso-

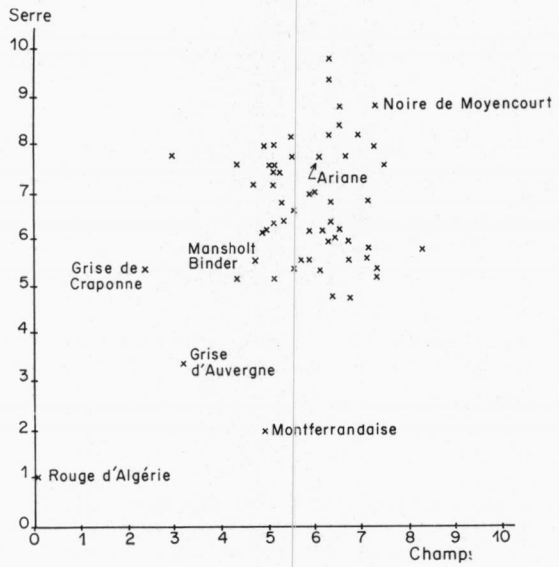



FIG. 2. — *Notes de sensibilité à l'Oïdium en serre et au champ chez 62 variétés d'Avoine de printemps* (+ Rouge d'Algérie)

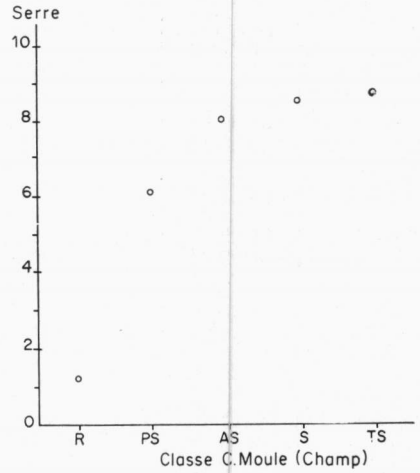



FIG. 3. — *Note d'Oïdium en serre et classe au champ de 32 variétés d'Avoine*

| Abréviation en abscisse | Signification | Nombre de variétés |
|---|---|---|
| R | Résistante | 1 (*R. d'Algérie*) |
| PS | Peu sensible | 3 |
| AS | Assez sensible | 8 |
| S | Sensible | 11 |
| TS | Très sensible | 9 |

lue, l'ordre des témoins d'inscription est bien celui reconnu au champ, l'écart entre *Garry* et *Pégase* est, en serre, dépourvu de la moindre signification.

D'autres expérimentations devaient également montrer la possibilité de reconnaître, en serre, les résistances des géniteurs fixés, de type hiver, issus du croisement *Prieuré* × *Rouge d'Algérie* (lignées *101* et *129*).

### 3. *Variétés inscrites au* Catalogue officiel français des Variétés

Deux répétitions de 67 variétés ont été contaminées. L'observation portait sur les trois premières feuilles. Elle incluait le développement du mycélium et les symptomes signalés plus haut. Ces différents éléments ont été intégrés à l'aide d'un barème dont il sera question plus loin, dans une échelle décimale. Le témoin *Starblonde* noté ainsi 7,7 présentait toujours le niveau d'infection 3-4 de l'échelle de MAINS et DIETZ.

La quasi-totalité des variétés paraît dépourvue de facteurs de résistance très élevée à l'oïdium. La conformité de l'observation en serre de 62 variétés avec la moyenne sur trois ans de leur notation au champ ressort du graphique 2. Le graphique 3 permet d'apprécier les rapports entre l'observation en serre et le classement au champ publié par MOULE (1964) pour 32 variétés. On retrouve ici la *correspondance* des niveaux de *résistance* en serre et au champ et l'*imprécision* du classement en serre à l'égard des degrés de *sensibilité* relevés au champ. L'observation en serre confirme cependant la présence des facteurs de moindre sensibilité chez certaines *Grise de Printemps* et plusieurs dérivés de *Mansholt Binder* (MOULE, 1964).

### 4. *Lignées de la collection des variétés étrangères*

Les notes, au champ, à Versailles, de 70 lignées étrangères ont pu être comparées à diverses observations réalisées aux États-Unis ou en Grande-Bretagne. Les observations réalisées aux États-Unis présentent une certaine conformité avec les nôtres. Il en est tout autrement à l'égard des notations de Grande-Bretagne.

a) *Lignées observées aux États-Unis.*

Vingt-deux lignées représentant différents niveaux de sensibilité ont été contaminées en serre. La mise en place ne comportait pas de répétition. Le système de notation a été le même que pour l'étude des variétés françaises. Le graphique 4 réunit les notes de 19 lignées observées à Versailles (corrélation serre × champ hautement significative avec $r = + 0,63$) et aux États-Unis. *E. graminis avenae* de la région parisienne se montre ainsi, vis-à-vis de ces lignées, peu différent de celui expérimenté dans différentes stations des États-Unis.

b) *Hôtes différentiels d'Aberystwyth.*

A une exception près (une lignée de *Red Algerian*) la totalité du matériel observé à Versailles (champ) était donnée comme uniformément sensible (note 4) à Aberystwyth (JONES et GRIFFITHS, 1952). L'obligeante collaboration de Miss J. THURSTON (*Rothamsted Experimental Station*) et de M. LAWES, (*Welsh Plant Breeding Station*) nous a mis à même d'expérimenter diverses lignées tenues pour résistantes dans cette station. Le tableau 4 en donne la liste.

Les lignées soulignées au tableau 4 ont été proposées comme hôtes différentiels par HAYES et CATLING (1963) ainsi que la variété de printemps *Milford* sensible à toutes les races. Le peu de semence disponible pour les numéros *Cc 4346* et *Cc 4347*

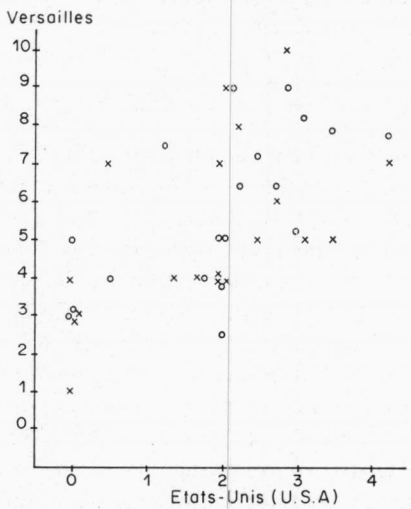



FIG. 4. — *Sensibilité à l'Oïdium d'une collection d'Avoine à Versailles et aux États-Unis*
En abscisse = Moyenne des notes de divers auteurs dans l'échelle de MAINS et DIETZ.
En ordonnée = Note au champ/10 : Moyenne de 2-3 années.
Note en serre/10 : observation de 1964.
o = Champ Versailles x = Serre Versailles

n'a pas permis leur étude en serre. On a noté cependant un développement transitoire de mycélium *d'Erysiphe graminis* en chambre conditionnée à + 10°C (germination à stade 2 feuilles). Les hôtes différentiels (la lignée *9065 Cn 8/13* remplaçant

TABLEAU 4

*Géniteurs de résistance à Erysiphe graminis étudiés à la Station d'Aberystwyth et observés à Versailles*

| Numéro de la W. P. B. S. (1) | Désignation taxonomique |
|---|---|
| *Cc 3678* ..... | *A. strigosa* s. sp. *hirtula* (LAG.). |
| *Cc 4146* ..... | *A. sativa* × *A. sterilis* s. sp. *Ludoviciana* (DUR.) G. et M. |
| *Cc 4346* ..... | *A. stérilis* s. sp. *Ludoviciana* (DUR.) G. et M. |
| *Cc 4347* ..... | *A. stérilis* s. sp. *Ludoviciana* (DUR.) G. et M. |
| *S. 235* ..... | *Manod* variété de printemps dérivé des lignés *01747/10/* et *01750/11*. |
| *S. 237* ..... | *Padarn* variété d'hiver dérivée de la lignée *01750/11* |
| *9065 Cn 8/13* ..... | Lignée dérivé de *Cc 4346*, sœur de la lignée *9065cn6/3/75* |

(1) *W. P. B. S. = Welsh Plant Breeding Station.*

la lignée *9065 Cn 6/3/74*), les lignées *Padarn*, (*Ariane* × *Rouge d'Algérie*) *187* et *Starblonde* ont été semées en deux répétitions avec répartition au hasard. Chacune était encadrée par des lignées de *Starblonde*.

TABLEAU 5

*Comportement en serre à Versailles des hôtes différentiels d'Aberystwyth (H) et de lignées témoins (T) à l'égard d'*Erysiphe graminis D. C.

| Lignées | Évolution du parasitisme | Notes dans l'éch. de M. et D. (1) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | à Versailles | | | à Aberystw. par Race | | |
| | | 11e j | 20e j | 30e j | (1) | (2) | (3) |
| *Cc 3678 (H)* | Pas de mycélium sur feuilles 2 et 3. Chlorose progressive basipète sur feuille 1 et 2 (faible). Pas de nécrose perceptible. | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| *Cc 4146 (H)* | Réaction nécrotique assez tardive, moyenne. | tr | 0-1 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| *Manod (H)* | Régression du mycélium de feuille en feuille : Réaction nécrotique très modérés. | 4 | 4 | 2 | 1-2 | 4 | 4 |
| *9065 Cn 8/13 (H)* | Réaction nécrotique rapide et forte mais diminuant de feuille en feuille. | 0 | 0 | 0 | 0-1 | 0-1 | 0-1 |
| *Milford (H)* | Aucune régression appréciable du mycélium. Pas de nécrose. Dessèchement après flétrissement essentiellement ; fréquence des chloroses croissant de feuille en feuille. | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| *Padarn (T)* | Réaction nécrotique assez modérée. | 1 | 4 | 3 | 1-2 | 4 | 4 |
| (*A.* × *RA.*) *187 (T)* | Régression du mycélium de feuill en feuille. Réaction nécrotique assez rapide et très forte. | 4 | 4 | 0 | | | |
| *Starblonde (T)* | Idem *Milford*. | 4 | 4 | 4 | | | |

(1) M. et D. = MAINS et DIETZ.
*N. B.* — Les notes d'Aberystwyth sont données pour la serre et le champ (HAYES et CATLING).

Le tableau 5 résume les principales observations et permet la comparaison entre notes de Versailles et celles d'Aberystwyth. Celles-ci concernent les réactions aux 3 races isolées dans l'inoculum de cette région.

La résistance de *Cc 4146* et de *9065 Cn 8/13* à Versailles porte à conclure que la race *3* d'Aberystwyth ne s'y manifeste pas.

Les races *1* ou *2* ne peuvent expliquer isolément les réactions de notre biotype. A moins de supposer leur présence simultanée et une interaction particulière élargissant leur virulence, on doit admettre la présence à Versailles d'une quatrième race attaquant *Cc 3678*. Les réactions au 30e jour montrent par rapport au 11e jour, une régression générale chez les lignées résistantes à l'exception de la variété *Padarn*. La différence de comportement entre celle-ci et la variété *Manod* est remarquable : elles auraient le même génotype vis-à-vis des races d'Aberystwyth (D. H. LAWES *in litt.*). La régression est particulièrement importante chez notre lignée (*Ariane* × *Rouge d'Algérie*) *187*. Ces processus sont examinés plus loin.

### 5. *Étude des possibilités de contribution directe des infections d'oïdium en serre à la sélection d'hybrides en disjonction*

a) *Le classement en serre de matériels hybrides observés en champ.*

**1.** Nous disposions de la récolte d'une $F_2$ *Ariane* × (*Ariane* × *Rouge d'Algérie*) *15*. Au champ, les plantes $F_2$ avaient été réparties en trois classes : résistantes, intermédiaires, sensibles. Un échantillon de chacune des trois classes a été constitué

TABLEAU 6

*Comportement en serre de la génération $F_3$ de* Ariane × (Ariane × R. d'Algérie)

| Lignées | Comportement en serre | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Moyenne des notations | | | | | | Vitesse d'évolution | | |
| | Oïdium/10 | | Nécrose/10 | | N Feuilles | | Oïdium | Nécrose | F |
| | 5/2 | 20/2 | 5/2 | 20/2 | 5/2 | 20/2 | | | |
| (*A.* × *R. A.*) *15*.. | 4,3 | 7,0 | 2,0 | 3,4 | 3,0 | 4,8 | 1,6 | 1,7 | 1,6 |
| Résistantes en $F_2$. | 2,9 | 4,9 | 2,9 | 5,3 | 3,3 | 4,4 | 1,7 | 1,8 | 1,3 |
| Interméd. en $F_2$.. | 3,2 | 5,4 | 3,3 | 5,1 | 3,4 | 5,0 | 1,7 | 1,5 | 1,5 |
| Sensibles en $F_2$.. | 4,3 | 7,2 | 1,9 | 3,4 | 3,0 | 4,1 | 1,7 | 1,8 | 1,4 |
| *Ariane*..... | 4,8 | 7,5 | 2,7 | 2,2 | 2,9 | 3,5 | 1,6 | 1,3 | 1,2 |
| *Starblonde*..... | 5,4 | 7,7 | 1,5 | 1,7 | 3,0 | 4,4 | 1,4 | 1,1 | 1,5 |

*N. B.* — Vitesse d'évolution $= \dfrac{\text{Valeur notation du } 20/2}{\text{Valeur notation du } 5/2}$.

et semé en deux répétitions avec répartition au hasard. Deux notations, l'une au 15e jour après la levée, l'autre au trentième jour, ont porté sur l'abondance du mycélium, l'importance des nécroses et le nombre de feuilles. Leurs valeurs moyennes sont données au tableau 6. On se contentera de souligner ici :

1° La bonne correspondance entre les classes établies dans la génération parentale et la notation en serre des descendances.

2° L'apparence transgressive de la résistance des descendances de la classe résistante en $F_2$.

2. A partir des restes de semence d'une $F_3$ *Ariane* × *Rouge d'Algérie* cultivée en 1959, une autre vérification des possibilités de sélection en serre a été effectuée. Trente-cinq lignées appartenant à 7 classes de comportement au champ vis-à-vis de l'oïdium ont été contaminées en deux répétitions avec répartition des lignées au hasard. Un facteur de variation a été introduit entre les répétitions : tandis que la répétition A était conduite en serre sans discontinuité par 18°C et avec un éclairement de 14 heures, la répétition B, aussitôt après contamination, a été transférée pendant 10 jours en châssis non chauffé (12°C), disposant d'environ 10 heures d'éclairement naturel par 24 heures. Le déficit de la répétition B en somme de température pouvait être estimé à environ 75°C lors de la notation, intentionnellement retardée, de cette répétition.

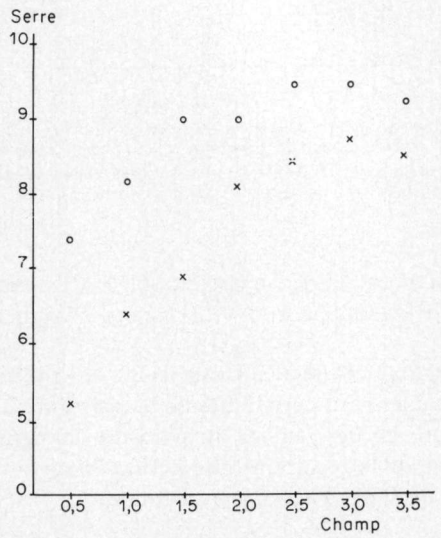



FIG. 5. — *Sensibilité en serre et au champ à l'égard de l'Oïdium d'une* $F_3$ Ariane × R. d'Algérie
x Traitement A } voir le texte ci-dessus
o Traitement B }

Le graphique 5 permet trois constations importantes :

1° L'incubation en jour court, à basse température, entraîne une virulence accrue du parasite (ou une plus grande sensibilité de l'hôte).

2° La valeur de la corrélation serre/champ, est fonction des conditions d'incubation de la maladie (pour A : $r = + 0{,}94$ ; pour B : $r = + 0{,}88$, probabilité de leur différence : 0,10).

3° La technique d'analyse en serre de la résistance à l'oïdium en $F_3$ permet de retrouver des aptitudes exprimées au champ à la même génération.

b) *Classement au champ d'un matériel hybride sélectionné en serre.*

Dans une $F_4$ (*Garry* × *A. M. B. 45*) *96* × *Rouge d'Algérie*, après examen en serre, deux classes de matériel ont été retenues pour semis au champ. Chaque famille

était représentée en serre par un échantillon (cinq grains en moyenne) de toutes ses lignées constituant une ligne de 20 grains par famille. Il n'y avait pas répétition mais simple disposition au hasard du matériel. Le graphique 6 donne la répartition des deux classes d'hybrides entre les notes d'oïdium au champ. La supériorité, au champ, de la classe notée 0 à 1 en serre sur celle notée 1 + à 2 + y est évidente.

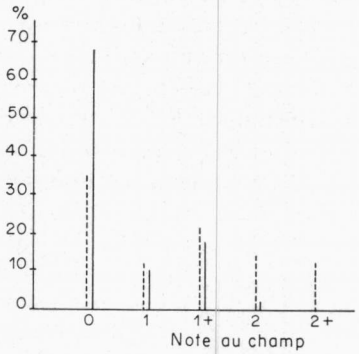



FIG. 6. — *Répartition au champ de lignées $F_4$* (Garry × A. M. B.) 96 × R. d'Algérie *appartenant à deux classes de sensibilité à l'Oïdium distinguées en serre*
Ordonnée : pourcentage de l'effectif de chacune des classes distinguées en serre
Trait plein : Classe 0-1 en serre, trait pointillé : Classe 1-2 en serre

## C. — APPORTS DE L'ÉTUDE EN SERRE A LA COMPRÉHENSION DE LA RÉSISTANCE A « E. GRAMINIS AVENAE »

Différents éléments ont été recueillis au cours des précédentes études qui permettront d'éclairer certaines caractéristiques de la résistance à l'oïdium chez l'avoine. Ils concernent la réceptivité des feuilles au parasite, la signification des variations de sensibilité en fonction de la technique d'infection en serre, la contribution des processus de croissance et de sénescence à la résistance.

### 1. *Réceptivité à l'oïdium*

Le délai d'infection le plus bref obtenu par CHEREWICK est de 7 jours. En contaminant nos plantules dès la levée (sortie du coléoptile), nous avons obtenu l'infection le sixième jour après celle-ci (observation sur hôte différentiel, début juin 1964). Un tel résultat indiquerait que la première feuille de l'avoine pourrait être réceptive à l'oïdium dès sa sortie.

### 2. *Technique d'infection et niveau d'infection*

L'importance des conditions d'incubation ressort des résultats obtenus avec la $F_3$ *Ariane* × *Rouge d'Algérie*. L'effet du traitement B est analogue à celui observé chez *E. graminis* par DENTLER qui signale un accroissement de l'activité enzymatique et de la virulence aux températures inférieures à 18°C.

Mais, on l'a noté, il n'y a pas eu aggravation de l'infection de façon uniforme pour toutes les classes repérables au champ. Dans les classes de matériel résistant au champ,

la sensibilité en serre est accentuée. Les stades de développement morphologique des séries A et B étaient trop peu différents à la notation pour attribuer cette distorsion à un retard dans l'expression de la résistance. Nous pencherions pour une autre interprétation. Les conditions d'incubation régiraient la mise en jeu de processus de résistance plus ou moins analogues à ceux de la résistance au champ. Les conditions réalisées avec la technique A solliciteraient des processus plus étroitement associés à celle-ci, d'où la tendance à une meilleure corrélation dans ce cas.

La courbe obtenue en B pourrait cumuler ainsi un effet de virulence accrue du parasite et l'intervention de processus secondaires dans la résistance au stade adulte.

Par analogie, on pourrait supposer que de tels processus interviennent dans les différences de sensibilité (niveau 2 + à 4 de l'échelle de MAINS et DIETZ) observées en serre, et qui nuisent ainsi à la correspondance serre/champ à ces niveaux. Cette interprétation n'exclurait pas, bien au contraire, elle laisserait supposer l'absence de gène majeur de résistance chez les variétés manifestant une certaine sensibilité au champ. Leurs différences au champ pourraient être l'effet de facteurs multiples dont l'expression serait moins complète en serre avant épiaison.

### 3. *Processus de croissance et de sénescence dans la résistance à l'oïdium*

La première constatation effectuée en serre a été la progressivité dans la résistance à l'oïdium. N'eût été l'observation de certaines lignées résistantes d'Aberystwyth, on aurait pu douter de la possibilité d'une manifestation immédiate de la résistance chez l'Avoine. Il demeure que pour la majorité du matériel expérimenté, l'intervention, dans la résistance à l'oïdium, de processus concomitants de la croissance est à considérer.

L'utilisation du jour long et de températures assez élevées a d'abord suggéré la participation de processus directement liés à l'évolution de l'apex vers la mise à fleur. Cette suggestion était renforcée par l'observation d'une liaison entre la résistance à l'oïdium au champ et la précocité d'épiaison dans le croisement *Ariane* × (*Ariane Rouge d'Algérie*) *15*. Mais, la liaison est, pour ce même croisement, assez discutable en serre (tabl. 6) : les descendances des « intermédiaires » ont un nombre de feuilles et une vitesse de croissance plus élevée que celle des autres classes ; or, nous avons vérifié l'existence d'une corrélation positive significative entre le nombre de feuilles en serre à ce stade et la précocité au champ. D'autre part, la lignée *187*, beaucoup moins précoce que la lignée *15*, paraît plus résistante qu'elle. La variété *Starblonde*, plus sensible qu'*Ariane*, montre en serre une vitesse de croissance supérieure... etc.

Les processus en question sont donc indépendants de ceux participant directement à la précocité. Il pourrait y avoir une évolution spécifique de la physiologie de la plante dans sa réponse au parasitisme.

Parmi les manifestations qui paraissent spécifiques de la physiologie d'une plante infectée, le développement de nécroses a pu sembler une caractéristique étroitement liée à la résistance. Ici, effectivement, à une seule exception près, celle de la lignée *Cc 3678*, on n'a guère observé en serre de résistance à *E. graminis* sans réaction nécrotique. Mais, si on regarde les choses de près, la liaison est souvent lâche et même indiscernable.

Au tableau 5 qui résume les observations effectuées chez les hôtes différentiels, on peut reconnaître une grande diversité dans les vitesses et l'intensité des réactions nécrotiques, sans liaison nette entre ces modalités et le développement de l'oïdium. C'est ainsi que la résistance de *Cc 4146* est plus vite établie que celle de la lignée *187* en dépit d'une réaction nécrotique plus faible.

Le tableau 6 apporte une confirmation à ces vues. On relève une égale vitesse de développement de l'oïdium dans les 3 classes de descendance mais une vitesse de développement différente des nécroses dans la classe intermédiaire.

L'indépendance entre processus de résistance et réactions nécrotiques est donc possible. Mais la tendance à l'association de ces deux manifestations conduit à supposer l'existence de séquences physiologiques communes.

La nécrose étant un processus rapide de sénescence, nous avons étendu l'observation, chaque fois que cela était possible, à tous les aspects de sénescence foliaire résultant apparemment de l'infection. Nous avons distingué : la *chlorose*, le *rougissement*, le *flétrissement*, et le *dessèchement*. Leur signification physiologique a été recherchée par la confrontation des notations au champ et des différentes combinaisons de ces aspects sur le matériel infecté en serre (barême d'étude des variétés françaises et étrangères). On peut résumer comme suit ces correspondances :

*Chlorose* : *diffuse* sur tout le limbe, réaction de *Cc 3678* ; exclusive de nécrose nette ;

*Chlorose* : *par plages*, s'observe chez presque toutes les lignées infectées en jour court à basse température ; fréquente chez les lignées peu sensibles au champ (*Garry*, (*Bonham* × *Ariane*) *761*, notamment) et sur les feuilles 3 à 5 du matériel sensible ; développement sans régression importante de l'oïdium ;

*Rougissement* : divers types ; le plus franc intéresse la majorité des lignées (ou dérivées) d'*A. byzantina* ; développement débordant parfois la zone infectée mais accompagnant généralement la régression de l'oïdium ;

*Flétrissement* : spécifique de la sensibilité à l'oïdium en serre ; l'extrémité, et jusqu'à la feuille entière, devient vert-de-gris puis gris noirâtre ; le mycélium persiste; on a souvent observé une survie relative de la feuille infectée d'un hôte sensible (*Starblonde*, *Milford*, par exemple) ;

*Dessèchement* : à l'extrême, qu'il provienne d'un rougissement ou d'un flétrissement initial, son aspect peut être le même ; c'est la rapidité et l'étendue de son apparition qui le relient aux manifestations de résistance.

Ces précisions permettent d'entrevoir deux types de sénescence du système foliaire infecté. L'un, spécifique du matériel sensible, aboutit lentement au dessèchement à travers le flétrissement et une faible participation des chloroses. L'autre, spécifique du matériel résistant, conduit rapidement au dessèchement, souvent à travers des rougissements, des nécroses et des chloroses étendus.

La portée de ces observations sera dégagée au cours de la discussion de l'ensemble des résultats et des interprétations, à la lumière de conceptions actuelles sur les résistances aux maladies.

## IV. — DISCUSSION

La séparation des biotypes d'*Erysiphe graminis* D.C. en races semble aujourd'hui un impératif dans l'analyse correcte de la virulence du parasite et de la résistance de l'hôte (FAVRET, 1959). Nos études pèchent sur ce point. Tout ce qui pourra être dit ne peut être rapporté à un comportement génique strict du parasite et peut être attribué au comportement d'une population, de composition sans doute fluctuante. La constance statistique des réactions variétales au champ sur un grand nombre d'années, leur conformité avec les réactions dominantes en serre, sont néanmoins garantes de l'actuelle stabilité du biotype d'*E. graminis avenae* expérimenté. Ajoutons que les résistances acquises à Versailles ont prouvé leur intérêt en Bretagne, région la plus touchée par l'oïdium. La non-séparation des biotypes en races n'est pas un obstacle à l'efficacité de la sélection, même si elle diminue la valeur des analyses.

L'analyse des facteurs géniques de l'hôte dans la résistance n'a sans doute pas été suffisamment développée ici. Des études en cours doivent la compléter (J. P. DOAZAN) (1). L'objectif du présent travail était avant tout une présentation de l'ensemble des données biologiques nécessaires à l'orientation de notre sélection.

Les résultats présentés cadrent avec le déterminisme oligogénique de la résistance à *E. graminis* observé par tous les auteurs.

La communauté d'origine spécifique des principaux facteurs de résistance disponibles chez l'Avoine a été soulignée. La grande espèce *A. sterilis* en est la source, heureusement assez diversifiée pour offrir une gamme de géniteurs très valables. Le matériel utilisé jusqu'ici en France pourrait être avantageusement complété.

Les aléas rencontrés dans la fixation et le comportement cytologique des dérivés directs de ce matériel ne sont pas sans rappeler ceux signalés par GRIFFITHS (1958) dans des croisements *A. sativa* × *A. byzantina*. La résistance parfaite au champ, à Versailles, des variétés *Manod* et *Padarn* est à souligner. La sensibilité au froid de *Padarn* est plus grande que celle de notre variété *Blanche-neige* mais moindre que celle de *Rouge d'Algérie*, dont elle n'a pas la sensibilité à la verse et le grain défectueux. Elle semble, par contre, très sensible à la rouille couronnée. *Manod* apporterait, elle, une bonne résistance à la rouille couronnée. Des hybridations ont été entreprises avec ces variétés. D'autres devraient suivre avec la lignée *9065 Cu 8/13*, qui possède un très beau grain.

L'avantage essentiel des nouveux géniteurs semble être la plus grande vigueur de leur système chlorophyllien. A moins que les fortes réactions nécrotiques de *9065 Cu 8/13* ne s'aggravent au champ, les trois lignées proposées paraissent beaucoup moins défectueuses à cet égard que les dérivés directs de *Rouge d'Algérie*. On a évoqué déjà le problème de la liaison entre réaction nécrotique et résistance. Le degré d'indépendance des deux processus pourrait sans doute être recherché avec la technique de culture des feuilles isolées en survie (DEBRAUX 1951). D. BOUBALS (1959-1961) a démontré, chez la Vigne, à l'aide de cette technique, l'existence de processus de résistance à l'oïdium et au mildiou distincts de ceux impliquant des

(1) Voir l'*Addendum*.

réactions nécrotiques. Le déterminisme de la transmission héréditaire serait oligogénique lorsque la résistance serait liée aux réactions nécrotiques, et polygénique lorsque d'autres causes (nutritionnelles (?), D. BOUBALS) seraient en jeu. On doit rapprocher de ces vues l'hypothèse d'une absence de gène majeur à l'origine de processus de moindre sensibilité au champ chez l'Avoine. On peut encore rappeler que, chez le Blé également (GOUJON, 1961), se manifeste une irrégularité de correspondances serre/champ de la résistance modérée à la sensibilité à l'oïdium. Ne pourrait-elle s'interpréter aussi par l'intervention, à ces niveaux, de facteurs polygéniques essentiellement? Dans certains croisements, la participation des géniteurs peu sensibles (*Garry*, lignées de *Bonham* × *Ariane*) donne lieu à une bonne sélection au champ. On peut donc admettre, à côté de gènes majeurs décelables *avant tallage*, l'existence de polygènes intervenant, après la montée ou l'épiaison, dans la résistance au champ de l'Avoine à *Erysiphe graminis avenae*. La réduction des manifestations nécrotiques chez un matériel résistant pourrait correspondre à un accroissement de la participation de systèmes géniques distincts de ceux mis à contribution dans notre sélection. L'expérimentation en serre engagerait ainsi à des combinaisons génétiques complémentaires, imprévisibles au champ.

Ces interprétations touchent à la conception de la nature hypersensible de la résistance à *E. graminis*. Si certaines formes de résistance, n'impliquent pas le développement d'une sénescence accélérée (cellulaire ou tissulaire), l'hypersensibilité n'est pas le ressort principal de la résistance. C'est peut-être en direction de la formation de substance du type « phytoalexine » (CRUICSHANK, PERRIN, 1960) qu'il faut chercher une compréhension plus satisfaisante de la réponse à l'infection. Rappellons ici quelques réactions d'une phytoalexine, la *pisatine* (CRUICSHANK, PERRIN, 1963) :

— élévation moins rapide des concentrations d'inhibition de la croissance d'un parasite lorsque la pisatine a été maintenue à basse température ;

— dépendance étroite de la réaction pathologique à l'égard du taux de pisatine atteint dans les tout premiers jours de la phase d'incubation ;

— indépendance entre la formation de pisatine et le brunissement des tissus par polyphénol-oxydation ;

— inhibition de la croissance d'*Erysiphe* sp. à une concentration de 54 microgrammes par millilitre après 72 heures.

Ces réactions n'évoquent-elles pas l'aggravation de l'infection du traitement B ci-dessus (effet de basses températures et importance de la phase d'incubation), l'absence de liaison obligatoire entre évolution de la résistance et évolution des nécroses, l'existence de facteurs de résistance conduisant à des inhibiteurs du type de la pisatine?

## V. — CONCLUSIONS

L'importance des déficits de rendement causés par les attaques d'*Erysiphe graminis avenae* dans certaines régions justifie un travail de sélection approfondi.

Les travaux effectués à Versailles ont montré la possibilité d'utiliser la résistance d'une lignée de *Rouge d'Algérie* dans l'amélioration des Avoines françaises.

Mais cette amélioration risquerait d'être lente, en dépit de la nature bifactorielle de la résistance, en raison de l'irrégularité des infections naturelles au champ, des difficultés de fixation et d'un certain déséquilibre des meilleurs hybrides de premier cycle.

La mise au point d'une technique de repérage rapide (trois semaines), en serre, des aptitudes génétiques de résistance à l'oïdium chez l'Avoine, permet d'envisager l'accélération de la sélection. Résumons ici les éléments déjà acquis par cette technique :

1. L'expression des différences variétales de sensibilité à *E. graminis avenae* a été obtenue entre le 11e et le 30e jour après le semis par contamination dès levée, sous 14 à 18 heures d'éclairement entre 16 et 25°C avec une humidité relative de 60 à 80 p. 100, sur un milieu nutritif solide ordinaire enrichi à partir du 15e jour environ à l'aide de la solution de Bosquet.

2. Les lignées *S. 237* (*Manod*), *S. 237* (*Padarn*) et *9065 Cn 8/13* de la *Welsh Plant Breding Station* d'Aberystwth pourraient, à certains égards, constituer de meilleurs géniteurs que notre lignée de *Rouge d'Algérie* et ses dérivés directs.

3. L'observation en serre suggère l'hypothèse de déterminismes à la fois mendéliens et multifactoriels dans la résistance à l'oïdium chez l'Avoine, les premiers se manifestant en serre et au champ sur les lignées résistantes, les seconds étant moins repérables en serre mais participant au champ au comportement des lignées résistantes à moyennement sensibles.

4. La possibilité d'une résistance indépendante des processus d'hypersensibilité caractérisée semble pouvoir être envisagée.

## ADDENDUM

Postérieurement à la rédaction de ce texte J.-P. DOAZAN, assistant à l'I.N.R.A., nous a fait part de ses conclusions dans l'analyse de croisements mettant en jeu la résistance à l'oïdium. La résistance de la lignée (*A.* × *R. A.*) *187* y apparait monogénique.

*Reçu pour publication en juillet* 1966.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions Miss J. THURSTON de la *Rothamsted Experimental Station* qui a bien voulu nous adresser les semences de *A. ludoviciana Cc 4346* et *Cc 4347* d'autant plus précieuses qu'elle en disposait de fort peu. Elle nous a fait bénéficier de conseils efficaces pour la germination et la multiplication de ce matériel.

Nous remercions aussi Mr LAWES de la Station d'Aberystwyth qui, en l'absence du Dr HAYES a bien voulu nous envoyer le reste du matériel anglais et nous préciser certains détails des génotypes en jeu.

Ce mémoire a bénéficié des remarques de MM. CAUDERON et MOULE. Ils nous ont, en particulier, souligné le caractère hypothétique d'une contribution des « polygènes ». M. BULIT nous a suggéré d'utiles modifications d'expression touchant notamment à la pathologie végétale. Nous les remercions de leurs critiques éclairées et minutieuses.

## SUMMARY

RESISTANCE TO THE POWDERY MILDEW « ERYSIPHE GRAMINIS AVENAE » MARCHAL AND THE SELECTION OF OATS

*Avena sterilis* (inc. *A. byzantina*) in the essential source of genes resistant to *E. graminis avenae*.

A controlled infection technique was carried out in the greenhouse on seedlings. It reflected biological data established with the mushroom and it facilitated selection. The expression of genetic differences in sensibility to *E. graminis avenae* was obtained under the following conditions : illumination of 14 to 18 hours per day, temperature 16 to 25°C, relative humidity 60 to 80 per 100, ordinary solid nutritive medium enriched with a Bosquet solution from the 15th day, contamination from germination onwards, recordings taken between the 11th and 30th day after sowing (20th day optimal).

The French varieties had few resistance factors. Only one line of *Rouge d'Algérie* showed good resistance, bigenic and dominant, but its hybrids with *A. sativa* were often fragile and unstable, imperfections which can be attributed to interspecific introgression. The following lines from the Welsh Plant Breeding Station at Aberystwyth might be valuable genitors : *S. 235* (*Manod*), *S. 237* (*Padarn*), *9065 Cn 8/13*.

Greenhouse observation suggests the hypothesis of Mendelian and multifactorial determinisms in resistance to powdery mildew, the respective interventions depending on the environment and the growth of the host.

It can be supposed from the signs of senescence in the host accompanying parasitism that hypersensitivity is not the only process responsible for resistance observed in oats.


## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES


BOUBALS D., 1961. Recherches sur la résistance des Vitacées à l'Oïdium. *Ann. Amélior. Plantes*, **11**, 401-500.

CATLING W. S., HAYES J. D., 1963. Physiological specialization in *Erysiphe graminis* D. C. in Oats. *Nature*, **199**, 1111-1112.

CHEREWICK W. J., 1944. Studies on the biology of *Erysiphe graminis* D. C. *Canad. J. Research*, **22**, 52-86.

CRÉPIN Ch. et *al.*, 1938. La résistance des variétés d'Avoine au Charbon nu. *Ann. Épiphyties et Phytogénét.*, **4**, 391-411.

CRUICSHANK I. A. M., PERRIN D. R., 1963. Studies on phytoalexins. VI. Pisatin : the effect of some factors on its formation in *Pisum sativum* L. and the significance of pisatin in disease resistance. *Austral. J. biol. Sci.*, **16**, 1, 111-128.

DEBRAUX G., 1951. *La feuille isolée en survie*. Thèse de Doctorat, Lesot édit. Paris.

DENTLER J., 1958. Untersuchungen über die Anfälligkeit von Sommergerstensorten gegenüber Mehltan. (*Erysiphe graminis hordei* D. C.). *Z. Acker- u. Pflanzenbau*, **105**, 89-107.

ÉCOCHARD R., 1961. Les bases cytogénétiques de l'introgression chez le Blé. *Ann. Amélior. Plantes*, **11**, 3, 301-311.

FAVRET E. A., 1960. Induced mutations for resistance to diseases. *Genetica agraria*, **13**, 1-26.

FINKNER R. E. et *al.*, 1953. Réactions of Oats varieties to powdery mildew. *Agron. J.*, **45**, 3, 92-95.

GOUJON C., 1961. Recherches préliminaires à l'étude de la résistance du blé tendre à l'Oïdium (*Erysiphe graminis*) : mise au point de la technique d'étude sur plantules en serre. *Ann. Amélior. Plantes*, **11**, 3, 375-377.

GRAINGER J., 1948. The ecology of *Erysiphe graminis* D. C. *Trans. brit. mycol. Soc.*, **31**, 54-65.

GRIFFITHS D. J., 1968. Oats *in Welsh Plant. Breed. Station, Rep. 1950-1956*, p. 71-86.. Univ. Wales, Aberystwyth.

GRIFFITHS D. J., 1959. The cereal crops. *Report Welsh Pl. Breed. Station*. Univ. Coll. of Wales, Aberystwyth., p. 36-42.

HARDISON J. R., 1945. Specialization in *Erysiphe graminis* for pathogenicity on wild and cultivated grasses outside the tribe Hordeae. *Phytopathology*, **35**, 394-405.

JOHANSEN H. B., 1961. Methods to determine the field resistance of cereals to powdery mildew (*Erysiphe graminis* D. C). *Årsskrkongel. Vet. Landbohjsksle*, 106-114.

JONES E. T., GRIFFITHS D. F., 1952. Varietal resistance and susceptibility of Oats to powdery mildew (*Erysiphe graminis.*) *Brit. Mycological Soc.*, **35**, 1, 71-80.

LUKE H. H., CHAPMAN W. H., WALLACE A. T., 1957. Reaction of Oats to powdery mildew. *Plant. Disease Rep.*, **41**, 842-844.

MAINS E. B., DIETZ S. M., 1930. Physiologic forms of barley mildew, *Erysiphe graminis hordei* MARSHALL. *Phytopathology*, **20**, 229.

MARCHAL E., 1902. De la spécialisation du parasitisme chez *E. graminis* D. C. *C. R. Acad. Sci.*, Paris. **135**, 210-212.

MOSEMAN J. G., 1964. Inheritance of pathogenicity in *Erysiphe graminis* F. sp. *hordei* in relation to breeding. barley for resistance to powdery mildew. *Crop. Sci.*, t. 4, 1, 61-66.

MOULE C., 1955. La résistance des variétés d'Avoine à la rouille couronnée (*Puccinia coronata avenae* PERS.) *Ann. Amélior. Plantes*, **15**, 639-662.

MOULE C., 1957. La résistance au charbon nu chez l'Avoine cultivée. *Ann. Amélior. Plantes*, **5**, 159-198.

MOULE C., 1964. Les variétés d'Avoine cultivées en France. I. N. R. A., Paris.

NILAN R. A., 1964. The cytology and cytogenetics of Barley 1951-1962. *Washington State Univ. Res. Studies Monographic suppl.*, nº 3.

REED G. M., 1920. Varietal resistance and susceptibility of oats to powdery mildew, crown rust and smuts. *Univ. Missouri agric. Exp. Stat. Res. Bull.*, **37**, p. 41.

ROSEN H. R., 1957. Epidemies of powdery mildews in Arkansas in 1956 with special reference to powdery mildew in winter oats. *Plant. Dis. Rep.*, **41**, 330-336.

SCHAFFER J. F., CALDWELL R. M., 1953. Reaction on Oats varieties and selection to powdery mildew at Lafayette. *Indiana. Plant. Dis. Rep.*, **37**, 306-309.

VALLEGA J., FAVRET E. A., 1947. Royas y ostras parasitios de los cereales en los valles Andino-Patagonicos. *Rev. Invest. agric. B. Aires* **1**, 269-278.

VIENNOT-BOURGIN, 1950. *Traité de Pathologie végétale*, Masson, Paris, 1850 p.

YARWOOD C. E., 1957. Powdery mildews. *Bot. Rev.*, **23**, 235-302.

*Ann. Amélior. Plantes*, 1966, **16** (4), 411-422.

# ÉTUDE CRITIQUE DE DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX SUR LA VIGNE

M. RIVES

*Station de Recherches de Viticulture,*
*Centre de Recherches agronomiques du Sud-Ouest, 33 - Pont-de-la-Maye*

Un essai de désinfection par fumigation dont nous avons présenté les résultats préliminaires (Rives *et al.*, 1965) pose un certain nombre de problèmes statistiques. Nous avons pensé qu'il n'était pas sans intérêt de les examiner et de décrire les quelques techniques qui peuvent être utiles pour s'assurer de la validité des résultats des calculs statistiques dans des cas semblables.

L'essai, rappelons-le, était constitué par 4 parcelles de 10 m × 100 m séparées par des bandes de 3 mètres. Trois de ces parcelles ont reçu les fumigations suivantes, au dichloropropane-dichloropropène (DD) :

- 1 000 litres de DD à l'hectare en juillet.
- 1 000 litres de DD à l'hectare en octobre.
- 500 litres de DD à l'hectare en juillet, suivis de 500 litres de DD à l'hectare en octobre.

La quatrième parcelle sert de témoin.

A ce premier dispositif, on a superposé à la plantation des bandes des trois porte-greffes suivant : *(420 A Mgt, Riparia Gloire de Montpellier, 101-14 C* ; ces bandes sont disposées perpendiculairement à la longueur des parcelles de traitements fumigants.

Le dispositif consiste donc en 12 « cellules » (parcelles topographiques) portant chacune une combinaison porte-greffe × fumigation.

Les récoltes de données sont toujours effectuées souche par souche ; l'expérience nous a montré amplement que, contrairement à une opinion souvent exprimée, c'est le système le plus simple et le plus économique du point de vue matériel ; la souche étant d'autre part l'unité biologique à l'intérieur de laquelle s'exercent les interactions plante × milieu, ce n'est qu'à ce niveau qu'on peut avoir une idée exacte des phénomènes ; enfin, du point de vue statistique, on peut prévoir que l'information maximale sera obtenue par le choix comme « parcelle élémentaire » de la plus petite unité biologique dont on dispose.

Dans notre essai, les pesées de bois de taille ont été faites en 1964 sur 30 souches prises dans chaque cellule : on a pris 6 souches sur chacun des 5 rangs de chaque cellule.

Les problèmes qui se posent pour l'interprétation des résultats sont *a priori* les suivants : l'essai ne comportant pas de répétitions sur le terrain, peut-on utiliser sa structure de classification à double entrée (*two-ways classification* des Anglo-Saxons, cf. KEMPTHORNE, 1952, pp. 74 *ssqq*) pour remplacer cette absence de répétitions, imposée par ailleurs par les nécessités pratiques de la mise en place ? Dans quelle mesure l'estimation de la variance d'échantillonnage obtenue à partir de la variation de souche à souche à l'intérieur des cellules peut-elle compléter celle qui provient du carré moyen résiduel de la classification à double entrée ?

Après examen, nous verrons que l'on est amené de plus à étudier de plus près la vérification des hypothèses fondamentales de l'analyse de la variance, qui sont la répartition normale des résidus, la constance de leur variance dans les cellules, l'indépendance des données et l'additivité des effets (cf. EISENHARDT, 1947).

Dans ce dispositif, les effets des différences de « fertilité » du terrain sont confondus avec ceux des traitements. Il est donc impossible de les éliminer directement et ils risquent, s'ils existent, de faire apparaître des effets fallacieux des traitements. Une vérification indirecte sera cependant possible par la suite : les bandes non traitées entre les parcelles et à l'extérieur de l'essai, qui ont été plantées avec les mêmes porte-greffes peuvent fournir des renseignements sur l'hétérogénéité du terrain.

D'autre part, le carré moyen résiduel de la classification à double entrée pourra fournir une estimation de la variance d'échantillonnage qui peut servir à tester la

TABLEAU I

*Résultats de l'essai*

| | *Riparia* | *101 14* | *420 A* | $X_j$ | $\sum_{x_{ij}} X_i$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 000 juillet ..... | 4 25 | 3 83 | 4 25 | 12 33 | 1 90 99 41 |
| 500/500 ..... | 4 19 | 3 62 | 4 47 | 12 28 | 1 90 64 50 |
| 1 000 octobre ..... | 3 94 | 3 65 | 3 92 | 11 51 | 1 78 15 41 |
| T ..... | 3 37 | 3 17 | 3 69 | 10 23 | 1 58 57 11 |
| $X_i$ ..... | 15 75 | 14 27 | 16 33 | 46 35 | |

*Analyse de variance*

| Source de variation | Somme de carrés | Degrés de liberté | Carrés moyens | F |
|---|---|---|---|---|
| Totale ..... | 1 64 28 | 11 | | |
| Traitements ..... | 95 28 | 3 | 31 76 | 16 040*** |
| Porte-greffes ..... | 56 42 | 2 | 28 41 | 14 348*** |
| Résiduelle (R) ..... | 11 88 | 6 | 1 98 | |
| Additivité (A) ..... | 1 38 | 1 | 1 38 | < 1 |
| R — A ..... | 10 50 | 5 | 2 10 | |
| « Dans les cellules » ..... | 23 16 90 | 3 48 | 6 66 | |

signification des effets des traitements, sous réserve qu'il ne soit pas biaisé par une interaction éventuelle entre fumigations et porte-greffes ; celle-ci traduirait l'absence d'additivité entre les deux classifications. De plus, dans la mesure où l'hétérogénéité du terrain n'est pas parallèle à l'un des traitements, elle se traduirait également par un gonflement du carré moyen résiduel, en introduisant une interaction fallacieuse. Le test de cette interaction au moyen du critère de TUKEY (RIVES, 1962) permet donc de répondre aux deux questions à la fois.

Le tableau d'analyse de la variance comporte, en plus de l'analyse du dispositif à double entrée telle qu'elle se présente classiquement, l'analyse de la variance par rapport à la moyenne de la cellule. Le carré moyen qui en rend compte devrait estimer la variance d'échantillonnage, donc être du même ordre de grandeur que le carré moyen résiduel de la classification à double entrée. Dans le cas où il y a une interaction entre les deux classifications, c'est-à-dire un biais qui gonfle le carré moyen résiduel, on doit s'attendre à ce que le carré moyen « dans les parcelles » soit plus petit (de manière significative) que le carré moyen résiduel (SNEDECOR, 1956, p. 267).

Or, on constate ici qu'au contraire ce carré moyen est supérieur au carré moyen résiduel de la classification à double entrée.

Cette situation anormale conduit à étudier d'une part l'homogénéité des variances dans les parcelles, par le test de BARTLETT (RIVES, 1960) et d'autre part la distribution des données elle-même, pour vérifier si elle peut être considérée comme normale, en s'inspirant en particulier de la technique de la construction de la droite de Henry (TOMASSONE, 1963).

Nous avons pensé utile de faire figurer ci-dessous, à cette occasion, les techniques de calcul, qui ne sont rassemblées nulle part à notre connaissance.

## ADDITIVITÉ

Le test d'additivité, dû à TUKEY (1955) et dont les techniques de calcul ont été améliorées par divers auteurs et rassemblées par RIVES (1962), a reçu une justification de SCHEFFE (1959, p. 130).

La somme de carrés « additivité », calculée ci-dessous (équation (5)), résulte des considérations suivantes : si on considère le modèle additif classique d'une distribution à deux voies :

$$x_{ij} = m + b_i + t_j + e_{ij}$$

dire qu'il n'y a pas additivité revient à la remplacer par un modèle contenant en plus un terme interaction $g_{ij}$ qui dépend de chaque cellule $ij$

$$x_{ij} = m + b_i + t_j + g_{ij} + e_{ji}$$

SCHEFFE démontre qu'une hypothèse satisfaisante pour $g_{ij}$ est que

$$g_{ij} = G\, b_i\, t_j$$

où G est une constante.

La somme de carrés (5) est alors obtenue à partir de l'estimation de G par la méthode des moindres carrés en minimisant

$$S = \sum_i \sum_j (x_{ij} - m - b_i - t_j - G\, b_i t_j)^2 = \sum_i \sum_j e_{ij}^2.$$

On trouve

$$G = \frac{\sum_i \sum_j b_i t_j x_{ij}}{\sum_i b_i^2 \sum t_j^2}.$$

La somme des carrés des $g_{ij}$ est

$$A = \sum_i \sum_j g_{ij}^2 = G^2 \sum_i b_j^2 \sum_j t_j^2 ,$$

d'où en remplaçant G par son estimation :

$$A = \frac{\left(\sum_i \sum_j b_j t_j x_{ij}\right)^2}{\sum b_i^2 \sum t_i^2} ,$$

où l'on reconnaît la forme de l'expression (5) qui correspond au remplacement des $b_i$ et $t_j$ par leurs estimations en fonctions des $X_{i.}$, $X_{.j}$ et $X_{..}$.

A partir du tableau à double entrée des sommes de cellules (tabl. 1) on calcule l'analyse de variance classique. Puis on calcule les expressions.

$$\sum_j x_{ij} X_{.j}, \tag{1}$$

c'est-à-dire, pour chaque rang du tableau, la somme de produits des données de chaque cellule avec le total de sa colonne ; ces expressions sont inscrites dans une colonne supplémentaire, à droite de la colonne des sommes de lignes, $X_{i.}$.

On calcule ensuite :

$$\sum_i X_i \sum_j x_{ij} X_{.j} , \tag{2}$$

c'est-à-dire la somme des produits des expressions que l'on vient de calculer par le total de la ligne correspondante.

De cette expression (2) on retranche l'expression suivante :

$$G\ (\text{SC « lignes »} + \text{SC « colonnes »} + G^2/N) \tag{3}$$

où G est le total général, SC est l'abréviation de « somme des carrés des écarts » ; SC « lignes » et SC « colonnes » sont respectivement les termes « lignes » et « colonnes » de l'analyse de variance ; N est le nombre total de cellules.

La différence obtenue, élevée au carré, est divisée par l'expression :

$$N \times (\text{SC « lignes »}) \times (\text{SC « colonnes »}).$$

Le résultat

$$A = \frac{\left(\sum_i X_{i.} \sum_j x_{ij} X_{.j} - G\ (\text{SC « lignes »} + \text{SC « colonnes »} + G^2/N)\right)^2}{N \times (\text{SC « lignes »}) \times (\text{SC « colonnes »})} \tag{5}$$

représente la part de la variation résiduelle due à la non-additivité. C'est une somme de carrés qui possède un degré de liberté. On la retranche de la somme des carrés résiduelle R et on teste l'additivité par le rapport F entre A et la différence R — A sans oublier que R — A possède un degré de liberté de moins que R.

Dans notre cas, les $\sum_i x_{ij} X_{i.}$ figurent dans la colonne de droite du tableau 1. On a

$$A = \frac{(8368813897 - 8368534215)^2}{649822942}$$

$$A = \frac{(299682)^2}{649822942} = 138$$

$$R - A = 210.$$

Le F est inférieur à 1 (il a 1 et 5 degrés de liberté).

L'hypothèse d'additivité ne peut donc être mise en doute. Cela ressort de la construction du graphique de TUKEY (1955) où l'on porte pour chaque $i$ les valeurs $P_i$ :

$$P_i = \sum_i x_{ij} X_{i.} - \frac{G}{N} X_{i.}, \qquad (6)$$

en fonction des $X_{i.}$ sur un graphique, et on étudie la répartition des points obtenus par rapport à la moyenne des $P_i$, $\bar{P}$, et aux limites de signification :

$$\bar{P} \pm 2 \sqrt{n_c \times SC\,\text{«lignes»} \times \frac{(R - A)}{DL}}, \qquad (7)$$

où $n_c$ est le nombre de cellules dans chaque total $X_{i.}$ et DL le nombre de degrés de liberté de la différence R — A.

On a ici :

$$P_1 = 1.909941 - \frac{4635 \times 1233}{12} = 49956$$

$$P_2 = 9190$$

$$P_3 = 3246$$

$$P_4 = 5176$$

$$\bar{P} = 5642 \pm 2\sqrt{3 \times 9598 \times 210}$$

$$\bar{P} = 5642 \pm 4920 = \begin{matrix} \nearrow\ 10562 \\ \searrow\ 722 \end{matrix}$$

Les quatre valeurs de $P_i$ sont donc bien comprises entre les limites de signification de $\bar{P}$. Nous n'avons pas reproduit le graphique.

## HOMOGÉNÉITÉ DES VARIANCES

Le test de BARTLETT (1957) consiste en un $\chi^2$ calculé de la manière suivante.

Il repose sur le fait que la différence entre le logarithme naturel de la somme de $a$ carrés moyens, et la somme des $a$ logarithmes de ces carrés moyens, est un $\chi^2$ avec $a$ — 1 degrés de liberté.

Nous avons simplifié le calcul (RIVES, 1960) dans le cas où le nombre de degrés de liberté des $a$ carrés moyens est constant, ce qui permet de partir directement des sommes de carrés d'écarts sans avoir à calculer les carrés moyens, en utilisant les propriétés additives des logarithmes. Il est simple d'utiliser les logarithmes décimaux. Le facteur 2,302 59, est le facteur de conversion de ces logarithmes en logarithmes naturels.

Étant donné que les ceps sont récoltés dans chaque cellule à raison de 5 par rang sur les 6 rangs, nous avons travaillé sur les carrés moyens des écarts de ces 5 ceps par rapport à la moyenne des sous-cellules ainsi constituées.

A titre d'exemple, nous donnons le calcul du $\chi^2$ pour les 6 groupes de 5 pieds de la cellule *101. 14* × *Témoin*, le tableau du $\chi^2$ d'ensemble étant trop important pour être reproduit ici (tabl. 2).

TABLEAU 2

*Calcul du critère de* BARTLETT

| Sommes de carrés d'écart SC | Log SC |
|---|---|
| 149 | 2,173 19 |
| 78 | 1,892 09 |
| 71 | 1,845 72 |
| 51 | 1,699 84 |
| 23 | 1,361 73 |
| 53 | 1,724 28 |
| 425 | 10,69 685 |

Dans une première colonne, on écrit les sommes de carrés d'écarts pour chaque cellule ; soit $a$ le nombre de ces sommes ; on calcule la somme de cette colonne :

$$\sum \text{SC} = 425$$

on en cherche le logarithme décimal :

$$\log \sum \text{SC} = 2.62839$$

Dans une deuxième colonne, on inscrit les logarithmes (décimaux) de chaque somme de carrés d'écarts. On fait la somme de cette colonne :

$$\sum \log \text{SC} = 10.69685$$

Puis on calcule :

$$\chi^2 = 2.30259\ (n - 1)\ [a\ (\log \sum \text{SC} - \log a) - \sum \log \text{SC}]$$

qui possède $a - 1$ degrés de liberté, $a$ étant le nombre de sommes de carrés comparées, ici 6, $n - 1$ est le nombre de degrés de liberté commun à toutes les sommes de carrés, ici 4.

Il est commode de disposer les calculs de la matière suivante :

| | | |
|---|---|---|
| $\log \sum SC$ | = | 2.62839 |
| $- \log a$ | = | 0.77815 |
| $\log \overline{SC}$ | = | 1.85024 |
| $a \times \log \overline{SC}$ | = | 11.10144 |
| $\sum \log SC$ | = | 10.69685 |
| différence | = | 0.40459 |
| $\chi^2 = 2.30259 \times 4 \times 0.40459$ | = | 3.72642 |

avec 5 degrés de liberté, ce qui n'est pas significatif.

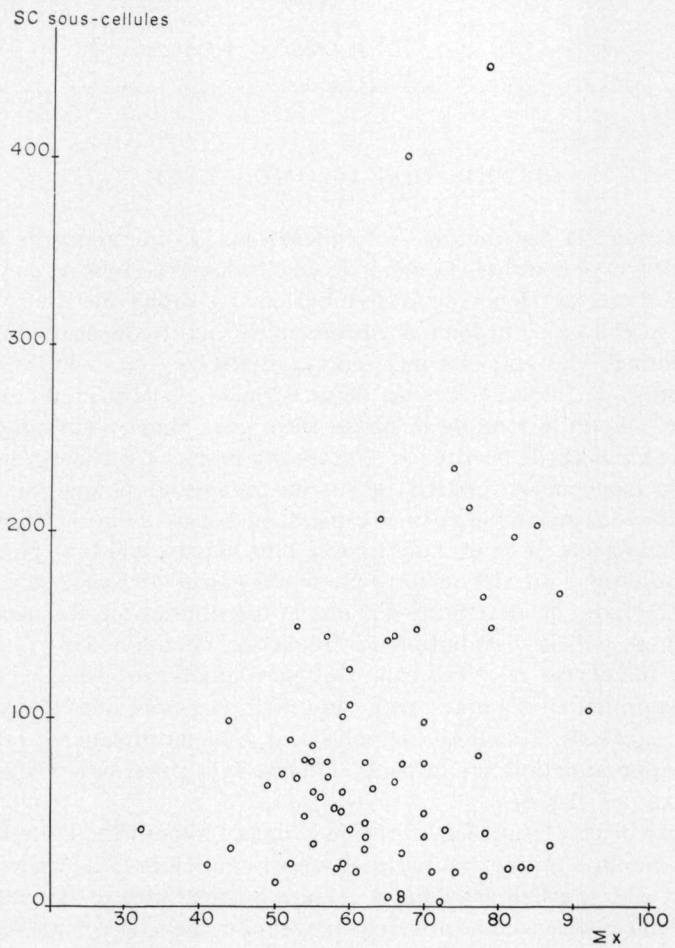



FIG. 1. — *Relation entre variance et moyenne*

Le $\chi^2$ d'ensemble est de 118, 365 19. Ceci doit être considéré comme significatif, le $\chi^2$ correspondant à la probabilité 0,05 étant de 91, 670 2 (HARTER, 1964), pour 71 degrés de liberté.

Les carrés moyens dans les sous-cellules ne sont donc pas homogènes. Le graphique 1 de ces carrés moyens en fonction des moyennes de sous-cellules suggère une relation entre la variance et la moyenne. Elle n'est pas très nette. Elle pourrait être liée à une très légère dissymétrie de la distribution de fréquence.

En étudiant les $\chi^2$ comparant les sommes de carrés d'écarts des sous-cellules dans les 12 cellules de l'essai, on voit que trois de ces cellules seulement fournissent des $\chi^2$ significatifs (tabl. 3).

TABLEAU 3

| | T | 1 000 juillet | 500/500 | 1 000 octobre |
|---|---|---|---|---|
| 101 14 ..... | 3,726 42 | 4,683 93 | 1,285 77 | 1,761 76 |
| *Riparia* ..... | 3,348 70 | .927 85 | 31,201 94** | 9,852 87 NS |
| *420 A* ..... | 6,227 03 | 14,125 10* | 16,730 43** | 4,401 72 |

## DISTRIBUTION DE FRÉQUENCE

On peut étudier la distribution de fréquence sur l'histogramme de la distribution (graph. 2). On peut utiliser la méthode de TOMASSONE (1965) et construire graphiquement la droite de Henry de la distribution. La droite de Henry est tracée sur un papier spécial où les ordonnées correspondent aux fréquences cumulées de la distribution normale, les abscisses aux écarts réduits $\xi = (x - m)/s$ ; dans le cas d'une distribution de fréquence proche de la normale, on obtient un graphique où les points sont alignés le long de la droite théorique. Sinon, le graphique s'écarte de cette droite. La méthode décrite par TOMASSONE permet d'estimer graphiquement au préalable la moyenne et l'écart-type sur un premier graphique des fréquences cumulées. Nous avons pu faire l'expérience que, si on dispose d'une machine à calculer, la détermination exacte de $m$ et $s$ n'est guère plus longue, d'autant plus que, dans le cas de notre essai, l'un et l'autre résultent du calcul de l'analyse de variance.

Pour cette étude, on détermine d'abord la distribution de fréquence observée (col. 1 du tabl. 4), puis la distribution des fréquences cumulées (col. 2), leurs transformations en fréquences relatives (col. 3 et 5). Dans notre exemple, les poids de bois de taille exprimés en grammes, mais mesurés à 50 g près, ont été divisés par 50 pour faciliter les calculs. Les classes de poids sont donc naturellement prises d'unité en unité et l'approximation sur le poids obtenue à la pesée assure que ces unités sont les centres des classes.

Pour le calcul des fréquences théoriques dans l'hypothèse d'une distribution normale, on a besoin d'utiliser les limites de classes qui correspondent ici aux demi-unités. Ce sont elles qui figurent dans la colonne 4 sous forme de données réduites, c'est-à-dire calculées avec comme origine la moyenne calculée et comme unité l'écart-type calculé.

La colonne 6 donne les fréquences relatives théoriques correspondant à ces limites de classes, calculées à partir de la table de la loi normale (FISHER et YATES, 1963, p. 45).

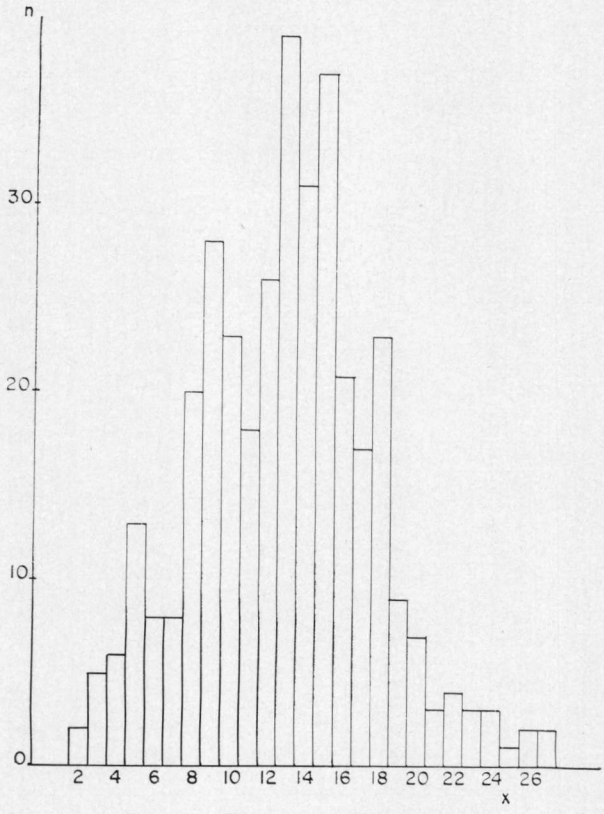



FIG. 2. — *Histogramme de la distribution*

La colonne 7 donne les écarts entre les chiffres de la colonne 5 et de la colonne 6, qui permettent de calculer le $\chi^2$ d'ajustement de la distribution observée (col. 5) à la distribution calculée (col. 6). On a :

$$\chi^2 = \sum \frac{(o - c)^2}{c} = \sum \frac{N^2 (f_o - f_c)^2}{N f_c}$$

$$\chi^2 = N \sum \frac{(f_o - f_c)^2}{f_c}$$

$o$ étant la fréquence absolue observée, $c$ la fréquence absolue calculée, $f_o$ et $f_c$ les fréquences relatives correspondantes, N le nombre total d'observations.
Dans notre cas on a :

$$\chi^2 = 1.5048$$

avec 25 degrés de liberté, ce qui est très faible. L'ajustement de la distribution des poids de bois à la distribution normale est donc ici excellent.

Le graphique 3 qui représente la construction de la droite de Henry confirme ce très bon ajustement. La légère dissymétrie de la distribution n'est donc pas significative. Elle apparaît dans la partie haute du graphique.

TABLEAU 4

| $x$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2 | 3 | 3 | .008 | — 2,17 | .008 | .012 | — .004 |
| 3 | 5 | 8 | .022 | — 1,96 | .014 | .010 | + .004 |
| 4 | 6 | 14 | .039 | — 1,75 | .017 | .015 | — .002 |
| 5 | 13 | 27 | .075 | — 1,54 | .036 | .022 | — .014 |
| 6 | 8 | 35 | .097 | — 1,33 | .022 | .030 | + .008 |
| 7 | 8 | 43 | .119 | — 1,12 | .022 | .039 | + .017 |
| 8 | 20 | 63 | .175 | — .91 | .056 | .050 | — .006 |
| 9 | 28 | 91 | .253 | — .70 | .078 | .061 | — .017 |
| 10 | 23 | 114 | .317 | — .50 | .064 | .067 | + .003 |
| 11 | 18 | 132 | .367 | — .29 | .050 | .077 | + .010 |
| 12 | 26 | 158 | .439 | — .08 | .072 | .082 | + .010 |
| 13 | 39 | 197 | — .547 | .14 | .108 | .088 | — .020 |
| 14 | 31 | 228 | .633 | .35 | .066 | .081 | + .015 |
| 15 | 37 | 265 | .736 | .56 | .103 | .075 | — .028 |
| 16 | 21 | 286 | .794 | .77 | .058 | .067 | + .009 |
| 17 | 17 | 303 | .842 | .98 | .048 | .057 | + .009 |
| 18 | 23 | 326 | .906 | 1,18 | .064 | .045 | — .019 |
| 19 | 9 | 335 | .931 | 1,39 | .025 | .037 | + .012 |
| 20 | 7 | 342 | .950 | 1,60 | .019 | .027 | + .008 |
| 21 | 3 | 345 | .958 | 1,81 | .008 | .020 | + .012 |
| 22 | 4 | 349 | .969 | 2,02 | .011 | .013 | + .002 |
| 23 | 3 | 352 | .978 | 2,23 | .009 | .009 | .000 |
| 24 | 3 | 355 | .986 | 2,44 | .008 | .006 | — .002 |
| 25 | 1 | 356 | .989 | 2,65 | .003 | .003 | .000 |
| 26 | 2 | 358 | .994 | 2,85 | .005 | .002 | — .003 |
| 27 | 2 | 360 | 1,000 | 3,06 | .006 | .002 | — .004 |

## DISCUSSION

Deux phénomènes liés attirent l'attention. Le premier est la valeur élevée du carré moyen « dans les cellules » par rapport au carré moyen résiduel de la classification à double entrée. Le second est la signification des $\chi^2$ de BARTLETT qui indique une hétérogénéité des variances dans les sous-cellules, c'est-à-dire dans des groupements de souches qui, bien que non voisines, sont topographiquement proches les unes des autres.

Cette situation, nous l'avons trop souvent rencontrée en dehors de cet essai pour qu'elle soit fortuite.

L'examen de l'additivité et de la distribution n'expliquent pas son anomalie.

Il semble donc que l'hétérogénéité topographique dans les plantations de vigne présente une structure particulière, au moins si on étudie le poids des bois de taille. D'autres résultats en cours d'analyse nous permettront dans une série d'études en préparation, d'interpréter cette structure particulière de l'hétérogénéité topogra-

phique chez la vigne, qui semble à notre connaissance n'avoir été constatée que très rarement sur d'autres espèces.

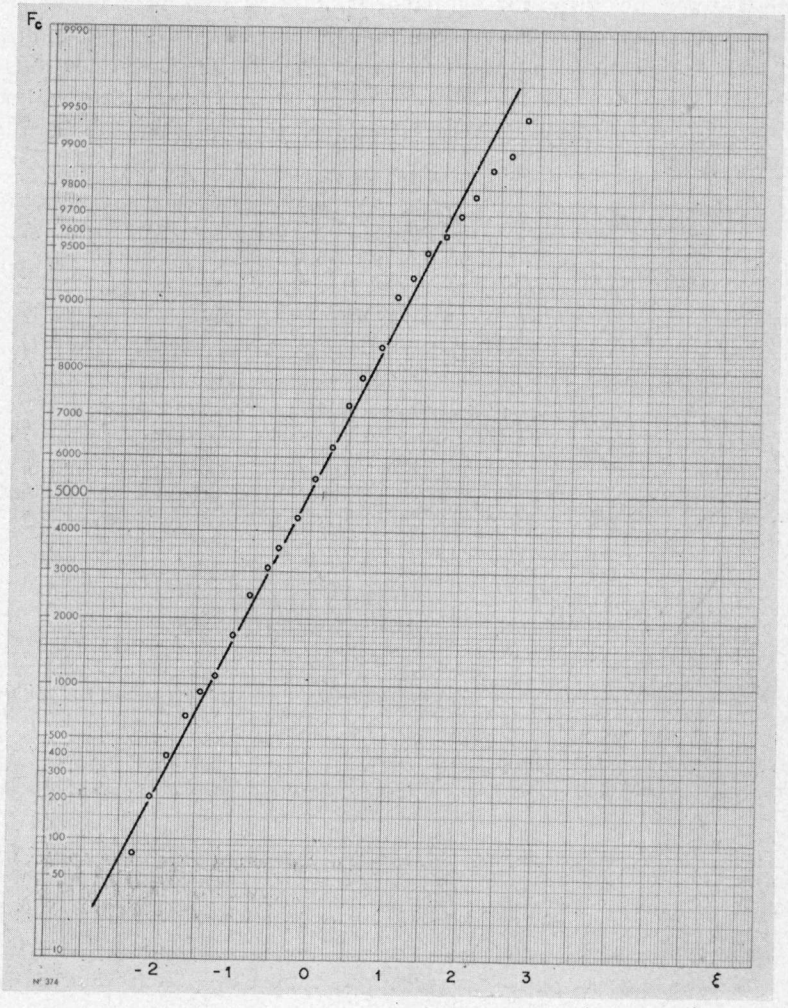



FIG. 3. — *Droite de Henry de la distribution*

Il semble qu'on ait affaire à une surhétérogénéité, décelée en particulier par la présence régulière de corrélations négatives entre plantes voisines, qui pourraient résulter d'un effet de compétition de plante à plante.

## CONCLUSION

Bien que cette analyse doive conduire à préciser les techniques d'expérimentation sur la vigne, l'étude de cet essai particulier montre à notre avis que les conclusions qu'on peut en tirer et que nous publions d'autre part sont justifiées du

point de vue statistique. Elle est intéressante, car les nécessités pratiques de l'expérimentation au vignoble empêchent souvent de réaliser des répétitions. La possibilité d'utiliser des dispositifs en bandes parallèles, tout au moins dans des terrains relativement homogènes, est extrêmement précieuse. Ceci est d'autant plus vrai que nous serons amené à proposer comme résultat de l'étude mentionnée plus haut des dispositifs indépendants de la répartition spatiale des souches sur le terrain, ce qui n'est pas possible quand les traitements sont des traitements du sol (fumures, fumigations, etc.).

*Reçu pour publication en juillet* 1966.

## SUMMARY

A CRITICAL STUDY OF METHODS FOR ANALYZING EXPERIMENTAL RESULTS IN GRAPE-VINE TRIALS

An experiment with grapes carried out without replication for practical reasons provided an opportunity to give examples of statistical techniques for judging the validity of an approximate interpretation of the results by use of within plots mean square as an estimate of the error variance.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BARTLETT S. M., 1937. Some examples of statistical methods of research in agriculture and applied biology. *J. r. statist. Soc. supp.*, **4**, 137-153.

EISENHART Ch., 1947. The assumptions underlying the analysis of variance. *Biometrics*, **3**, 1-21.

FISHER R. A., YATES F., 1963. *Statistical tables*, 6th éd., p. 146, Oliver and Boyd London.

HARTER H., 1964. A new table of the percentage points of the khi square distribution. *Biometrika*, **51**, 231-239.

KEMPTHORNE O., 1952. *The design and analysis of experiments*. Wiley, N. Y. p. 631.

RIVES M., 1960. Sur l'analyse de la variance : I. Emploi de transformations. *Ann. Amélior. Plantes*, **10**, 309-331.

RIVES M., 1962. Sur l'analyse de la variance : II. L'additivité. *Ann. Amélior. Plantes*, **12**, 5-18.

SCHEFFE H., 1959. The analysis of variance. Wiley, N. Y., p. 477.

SNEDECOR G. N., 1956. *Statistical methods*. 5th éd., Iowa St. Coll. Press-Ames, p. 534.

TOMASSONE R., 1963. Méthode graphique de calculs de la moyenne et de l'écart-type d'une distribution normale. Test de normalité. *Rev. forest. r.* **10**, 791-797.

TUKEY J. W., 1955. Answer to query 113. *Biometrics*, **11**, 111-113.

YATES F., 1933. The principles of orthogonality and of confounding in replicated experiments. *J. agric. Sci.*, **23**, 108-145.

*Ann. Amélior. Plantes*, 1966, **16** (4), 423-451.

# MISE AU POINT SUR LA TOXICITÉ DES SORGHOS FOURRAGERS ET LEUR CONSOMMATION EN VERT PAR LE BÉTAIL

P. HUGUES
avec la collaboration technique de M. FERRET

*Station d'Amélioration des Plantes,*
*École nationale supérieure agronomique,*
*Centre de Recherches agronomiques du Midi, 34 - Montpellier*

## INTRODUCTION

Il serait du plus grand intérêt pour l'éleveur d'être assuré de pouvoir disposer pour son bétail pendant tout l'été d'une nourriture verte, bien consommée, nutritive et abondante, de manière à remédier au déficit habituel des prairies.

Cette alimentation peut être réalisée grâce à l'emploi des *Sorgho*, *Sudan-grass*, *Sweet-Sudan*, et hybrides entre *Sorgho* et *Sudan* à la condition toutefois d'observer un certain nombre de prescriptions relativement simples.

En effet toutes ces graminées estivales renferment dans leurs parties vertes, en cours de croissance, un glucoside générateur d'acide cyanhydrique, dénommé *dhurrine*, qui dans certaines circonstances peut être présent en quantités suffisantes pour provoquer des empoisonnements, en particulier chez les ruminants.

## ORIGINE DE L'ACIDE CYANHYDRIQUE CHEZ LES PLANTES DU GENRE SORGHUM

L'acide cyanhydrique (HCN) libre, ou soluble, est fortement toxique pour les plantes. Il paraît donc raisonnable de conclure qu'une concentration élevée de ce poison dans les tissus végétaux ne peut prendre place qu'à travers la formation d'un composé insoluble et non toxique d'HCN.

Chez les plantes cyanogènes, dont on connaît plusieurs espèces, il peut s'agir d'un ou de plusieurs glucosides. Ceux-ci paraissent se former spécialement dans les tissus chlorophylliens, sous l'influence de la lumière qui intervient en favorisant la

production des hydrates de carbone, indispensables à l'élaboration du composé cyanogéné.

Chez les *Sudan-grass* et *Sorgho,* ce glucoside est désigné sous le nom de *dhurrine.* Dans celle-ci, l'acide cyanhydrique se trouve combiné au glucose et à un phénol. Le glucoside, par hydrolyse en présence de l'émulsion d'une enzyme spéciale contenue dans la plante et analogue à l'émulsine des amandes amères, donne du glucose, de l'aldéhyde parabenzoïque, de l'acide cyanhydrique. Une très petite fraction de ce dernier peut toutefois exister à l'état libre ou non glucosidique dans les tissus de la plante vivante (à partir de plantes de *Sorgho* on a pu enregistrer des déperditions d'HCN dans l'atmosphère).

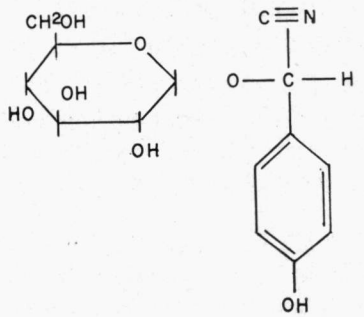
Suivant les théories de A. C. LEEMAN (1935), l'acide cyanhydrique se forme chez certaines plantes grâce à un type particulier de synthèse des protéines dans lequel l'azote absorbé sous forme de nitrates à partir du sol, est transformé en HCN en tant que stade intermédiaire entre les nitrates et les acides aminés.

Aussi rapidement que se forme l'HCN, il se combine au glucose et à l'aldéhyde benzoïque pour former un glucoside non toxique qui ne s'accumule pas si les conditions sont favorables à une synthèse rapide et complète des protéines. Puisque l'azote est le constituant essentiel de l'HCN, il est probable que des quantités toxiques de composés cyanophoriques ne s'accumuleraient pas dans des plantes privées d'azote. Par ailleurs, si la plante ne reçoit pas une quantité convenable de phosphore assimilable, la formation de certaines protéines se trouve entravée, et l'accumulation des composés cyanophoriques peut être accrue.

## NATURE DU GLUCOSIDE

Selon WORDEN (1940) cité par D. C. SMITH (1965) les glucosides générateurs de l'HCN sont des produits normaux intermédiaires du métabolisme de la plante convertissant les nitrates en protéines, ces glucosides pouvant être soit des réserves de sucres, des produits résiduaires du métabolisme, des moyens de désintoxication ou des parties de mécanismes de défense (Mc. ILROY, 1951).

La dhurrine, provenant de *Sorghum vulgare* a été isolée et caractérisée par DUNSTAN W. R. et HENRY T. A. (dès 1902) ; sa formule chimique est la suivante :




DHURRINE = $(C_{14}H_{17}O_7N)$

p hydroxymandelonitrile $\beta$-D glucoside

D'après MAO et *al.* (1964), il semble probable que la dhurrine représente 90 p. 100 environ, sinon davantage du matériel cyanogénique de l'extrait de *Sorghum vulgare*, analysé par chromatographie sur papier.

## EFFETS DE L'ACIDE CYANHYDRIQUE SUR LES ANIMAUX

Les diverses espèces d'animaux réagissent de façon différente à l'ingestion de plantes contenant des composés cyanophoriques, par suite de leur structure anatomique propre, et de leurs aptitudes différentes à se désintoxiquer.

Les plus sujets à l'empoisonnement sont les ruminants, bovins, ovins, car la panse et le rumen de ces animaux *n'ont une réaction ni assez fortement acide, ni assez alcaline* et abritent une vaste flore de microorganismes ainsi que des quantités considérables d'émulsions d'enzymes. Un tel terrain est éminemment favorable à l'hydrolyse du glucoside, d'où résulte la libération de l'agent toxique : l'acide cyanhydrique.

Chez les monogastriques : équidés, porcins, l'estomac a au contraire une réaction très acide, due à la présence de l'acide chlorhydrique. Celui-ci réagit avec l'acide cyanhydrique libéré pour former des substances moins toxiques, selon la réaction suivante :

$$HCN + HCL + 2H^2O \longrightarrow HC(=O)OH + NH_4Cl$$

Acide formique

Dès que HCN est libéré à partir du glucoside, son effet toxique est immédiat. F. B. HADLEY et F. L. KOZELKA (1935) ont établi que l'action spécifique de l'acide cyanhydrique sur l'animal est d'inhiber l'enzyme qui active l'oxygénation : l'indophénol oxydase. Il en résulte une diminution de l'énergie habituellement produite par l'oxygénation, puis une augmentation de la cadence et de la profondeur du rythme respiratoire, l'accroissement des pulsations, la diminution des réflexes, la manifestation de mouvements musculaires spasmodiques et enfin la mort.

MARTIN et *al.* (1938) ont observé que dans des troupeaux ayant consommé des plantes de *Sorgho* ou de *Sudan-grass* à forte teneur en HCN, certains animaux périssent ; d'autres sont malades mais en réchappent tandis que d'autres ne présentent aucun symptôme d'intoxication. Ces auteurs attribuent ces diversités de réaction au fait que certains animaux commencent par brouter les feuilles jeunes, les plus riches en HCN et sont empoisonnés en quelques minutes, tandis que d'autres ingérant principalement des tiges ou des épis peu riches en HCN, voient en même temps les effets toxiques de celui-ci contrebalancés dans une certaine mesure, variable d'ailleurs, par le glucose et les hydrates de carbone que renferment ces parties des plantes.

On a constaté que le bétail mis sur des *Sorgho* ou sur des *Sudan-grass* de forte teneur en acide cyanhydrique s'arrête généralement de pâturer au bout d'environ 1/4 d'heure, par suite du commencement de l'intoxication. Si les animaux ne sont pas trop affamés et sont en bon état de vigueur, ils peuvent cesser de s'alimenter avant d'avoir ingéré une dose fatale de toxique. Si au contraire ils sont affamés et en mauvais état de santé, ils sont alors beaucoup plus sujets à l'intoxication.

## DOSES TOXIQUES

Selon FRÖHNER, cité par PIEDALLU (1923) 0,500 g à 1 g d'HCN constitueraient une dose fatale pour le bétail, avec des variations plus ou moins grandes suivant l'état de santé de l'animal, son poids vif, la nourriture antérieurement consommée, l'état d'accoutumance à l'alimentation avec les plantes toxiques, etc.

D'après MORAN (1954) la dose léthale minimum d'HCN pour les bovins serait de 2,042 milligrammes par kg de poids vif (soit pour une vache de 400 kg environ : 0,816 gramme) et pour les ovins 2,315 milligrammes (soit pour un mouton de 60 kg environ : 0,125 gramme).

D'une façon générale, cet auteur estime qu'un fourrage est dangereux lorsqu'il contient 20 milligrammes d'HCN pour 100 grammes de végétal ou 200 milligrammes par kilo de matière verte.

Suivant les teneurs en acide cyanhydrique du fourrage on peut proposer l'échelle suivante de toxicité :

| Teneurs en HCN en milligrammes par 100 g de matière sèche | Indication sur la toxicité |
|---|---|
| 0 à 25 | Très faible |
| 25 à 50 | Faible |
| 50 à 75 | Moyenne (douteuse) |
| 75 à 100 | Forte (dangereuse) |
| > à 100 | Très forte (très dangereuse) |

D'après C. E. NELSON (1953) le *Sudan-grass* peut être pâturé sans danger jusqu'à une teneur de 500 parties par million (0,500 gramme par kilo) de matière verte.

V. ORLOV (1964) en U.R.S.S. indique qu'au-dessous de 600 milligrammes par kilo il n'y a pratiquement pas de danger pour le bétail.

Il a été établi que les chiens et les lapins sont capables de se désintoxiquer, à un taux d'environ 0,5 milligramme de HCN par heure par livre de poids du corps, sans effets d'empoisonnement. En se basant sur ces chiffres on a cru pouvoir indiquer qu'une vache de 435 kg pourrait assurer sa désintoxication à un taux d'environ 0,5 gramme de HCN par heure.

Cette capacité de désintoxication rend possible aux animaux l'ingestion de fourrage contenant de petites quantités d'acide cyanhydrique sans effets nocifs. C'est seulement lorsque le poison pénètre dans le courant sanguin à un taux plus élevé que celui de désintoxication de l'animal, que se produit l'issue fatale.

## MÉTHODES DE DÉTERMINATION DES TENEURS EN HCN DES PLANTES DE SORGHO

Afin de se rendre compte des possibilités d'intoxication, on a cherché à déterminer les teneurs en toxique des plantes de *Sorgho*. Nous donnerons ci-dessous des indications sur les méthodes les plus simples et les plus généralement employées.

*Méthode de* BOYD *et* TRUOG (cf. BOYD et *al.*, 1938)

On place 8 grammes de tissus de la plante coupés en morceaux, dans une fiole de Kjeldahl, avec 300 cc d'eau et 5 cc de chloroforme. Le contenu du flacon est ensuite soumis à la distillation, et libère l'HCN. Après passage dans un condenseur, l'acide cyanhydrique est recueilli dans une solution alcaline. On traite ensuite 5 cc du distillat dans un tube à essais ou tout autre récipient convenable, avec 5 cc d'une solution picrosodée, provoquant, par chauffage au bain-marie, le développement d'une coloration rouge, dont l'intensité est proportionnelle à la quantité d'HCN présente.

Cette coloration est alors comparée à celle d'étalons, permettant ainsi de déterminer la teneur en acide cyanhydrique. Cette méthode est relativement simple et rapide.

Une autre technique, basée sur une méthode définie par EPSTEIN J. (1947) et décrite par MAO et *al.* (1964) est connue sous le nom de Méthode à la pyrazolone. Elle couvre une échelle de teneurs en toxique de 0,05 à 0,55 mg et donnerait des précisions très supérieures aux indications obtenues avec la méthode précédente.

Enfin nous décrirons ici, d'une manière plus détaillée la méthode que nous avons utilisée dans nos travaux de détermination, car elle est d'un emploi simple, ne nécessite qu'un petit matériel de laboratoire et donne des renseignements suffisamment précis. Il s'agit de la Méthode de P. G. HOGG et H. L. AHLGREN (1942). Celle-ci a pour origine une méthode indiquée par GUIGNARD en 1907, modifiée à plusieurs reprises par différents auteurs.

« On place 150 milligrammes de matière verte, découpée en petits morceaux avec des ciseaux, dans un tube à essais. On dépose quelques gouttes de chloroforme au contact de la matière verte, et on suspend au-dessus, maintenue par un bouchon de liège qui obture l'extrémité du tube, une bande de papier filtre humide, saturée avec une solution de picrate de soude.

Le tube est maintenu à la température de la pièce (vers 20 °C) pendant 12 à 24 heures. Le picrate de soude, présent dans le papier filtre se trouve réduit en un composé rouge plus ou moins foncé suivant la quantité d'acide cyanhydrique dégagée. On dissout ensuite la coloration produite, en mettant le papier dans un tube à essais propre contenant 10 cc d'eau distillée. Puis, on compare la teinte prise par l'eau à celle d'étalons colorés. »

Ce test est suffisamment quantitatif pour servir de base pour la sélection des plantes à faible teneur en HCN. On peut exprimer les résultats en termes relatifs tels que :

Teneur forte, moyenne ou faible, ou encore en mmgr en se basant sur la teneur en matière sèche p. 100 de l'échantillon.

Les réactifs et étalons sont réalisés de la manière suivante :

*Solution picrosodée.*

Dissoudre 25 grammes de $CO^3Na^2$ et 5 grammes d'acide picrique dans 1 000 cc d'eau distillée.

*Étalons colorés.*

Dissoudre 0,241 grammes de cyanure de potassium dans 1 000 cc d'eau. On obtient ainsi la solution basale, renfermant 0,1 mmgr HCN par cc. Mettre 5 cc de la solution picrosodée et 5 cc de la solution de KCN dans un tube à essais. Chauffer 5 minutes au bain-marie. Mettre les quantités suivantes de la solution picrosodée + KCN dans 8 tubes à essais de 15 mm de diamètre sur 15 cm de long.

On aura ainsi les correspondances suivantes :

| Tube n° | cc de solution | mg de HCN par tube |
|---|---|---|
| 1 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,10 | 0,005 |
| 3 | 0,20 | 0,01 |
| 4 | 0,40 | 0,02 |
| 5 | 0,60 | 0,03 |
| 6 | 0,80 | 0,04 |
| 7 | 1,00 | 0,05 |
| 8 | 1,60 | 0,08 |

Amener le volume dans chaque tube à 10 cc, par addition d'eau distillée. Mettre les tubes au frais et à l'abri de la lumière.

Ces étalons se conservent de façon satisfaisante pendant au moins 15 jours.

*Papier-filtre.*

Découper des bandes de 10 à 12 cm de long sur 0,5 cm de large. Les saturer à l'avance avec la solution picrosodée. Les ré-humidifier avec la même solution peu avant l'emploi.

Cette méthode donne des indications assez précises et suffisantes sur la teneur en acide cyanhydrique de la partie de la plante analysée. Elle n'a aucunement la prétention de renseigner sur la teneur de la plante entière.

J.-A. BENSON et E. GRAY (1964) n'ont pu, à ce sujet établir de corrélations entre l'analyse des divers étages de feuilles de la plante de *Sorgho* et la teneur en HCN de la plante entière. Les résultats selon ces auteurs, seraient cependant valables pour une comparaison entre variétés, par rapport à la moyenne de l'ensemble de ces variétés, mais non lorsqu'on veut utiliser les observations sur des plantes individuelles à l'intérieur d'une même variété.

Dans l'emploi de la méthode de HOGG et AHLGREN, on doit veiller avec soin aux conditions de réalisation de l'échantillonnage des plantes et des parties de plantes à soumettre à l'analyse. Par exemple, les prélèvements devront porter, pour des comparaisons entre plantes, sur des individus à un même stade de croissance, sur des parties identiques du végétal, prises à des niveaux identiques, présentant des teneurs en matière sèche du même ordre.

Si possible, les plantes seront prélevées entières, leur pied mis dans l'eau si l'analyse doit être différée de quelques instants. Celle-ci doit avoir lieu le plus tôt possible après la récolte, les plantes doivent être turgescentes.

## ÉTUDE DE L'INFLUENCE DE DIVERS FACTEURS SUR LA TENEUR EN ACIDE CYANHYDRIQUE DES PLANTES DE SORGHO

### I. — *Les facteurs du milieu*

WILLAMAIN et WEST (1916) ont dénoncé l'influence du *climat* sur la teneur en acide cyanhydrique des plantes.

La plupart des pertes de bétail par empoisonnement se constatent dans les régions les plus septentrionales de la culture du *Sorgho*.

Aux États-Unis on n'entend pour ainsi dire pas parler d'empoisonnements à la suite d'ingestion de *Sorgho*, de *Sudan-grass*, voire même de *Sorgho d'Alep* réputé pourtant pour sa toxicité, dans les États du Sud situés en bordure du Golfe du Mexique.

En Afrique, à Madagascar, le bétail broute en permanence des *Sorgho*, y compris les repousses, sans manifester d'intoxication (X... 1965).

*L'intensité de la lumière diurne* a un effet assez nettement marqué sur l'accroissement du taux de l'acide cyanhydrique. Des prélèvements successivement effectués à diverses heures de la journée d'abord par ACHARYA C. NARASHIMAH (1933) aux Indes, puis par BOYD et *al.* (1938) aux États-Unis, ont montré que les échantillons de plantes prélevés à 13 heures présentaient des teneurs en HCN significativement supérieures de l'ordre d'environ 30 p. 100, à ceux récoltés à 8 heures du matin ou à 19 heures (cf. fig. 1).

Dans la pratique, ces différences dues à l'éclairement diurne, paraissent avoir peu d'importance pour les animaux, excepté peut-être dans le cas de pâturage intense des bordures de champs, plus exposées à la lumière, d'un *Sorgho* ou d'un *Sudan* dont le taux de toxicité en HCN se situerait déjà à la limite dangereuse.

La *sécheresse* produirait des effets, controversés suivant les auteurs.

Pour ROGER et BOYD (1936) les *Sudan-grass*, fortement déprimés par la sécheresse

contiendraient moins d'HCN que ceux ayant poussé dans des conditions plus favorables.

MANGES (1935) au contraire, considère la sécheresse comme un facteur d'accroissement de l'acide cyanhydrique, par suite du retard qu'elle apporte dans le développement des plantes, au même titre que tout autre facteur déprimant tels que le froid, le piétinement, le flétrissement, des lésions, une coupe sévère, etc.

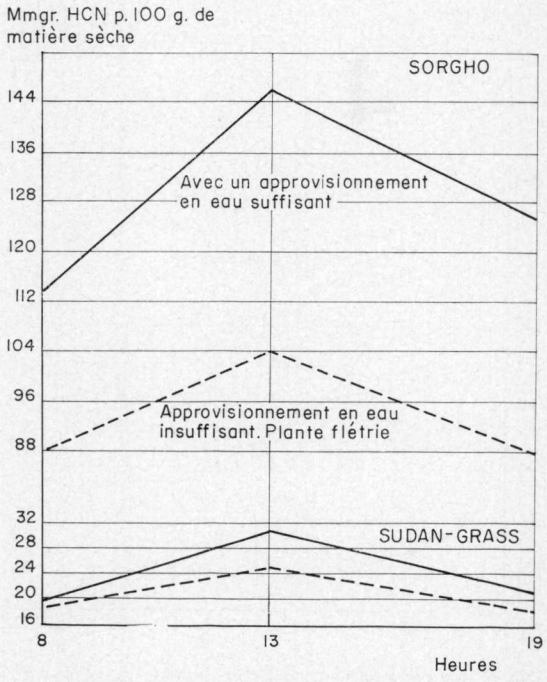



FIG. 1. — *Variation diurne de la teneur en acide cyanhydrique du* Sorgho *et du* Sudan-grass, *pour une hauteur des plantes d'environ 35 cm*

BOYD et *al.* (1938) constatent que si la sécheresse saisit des plantes jeunes, bien vertes, présentant un taux élevé en HCN, ce dernier peut persister parce que les plantes ne deviennent plus capables de sortir du stade de végétation où elles sont bien pourvues en toxique. La privation d'eau empêcherait probablement plus l'accessibilité aux plantes des phosphates que celle de l'azote.

BRAITHWAITE (1952) a relevé une corrélation entre l'époque des semailles et le taux d'HCN dans les *Sorgho*. Ceux-ci, semés tard, au moment de la saison sèche, demeurent courts, chétifs et sont plus dangereux que les plantes semées à une époque plus favorable.

De toutes les observations relatives aux effets de la sécheresse sur la teneur en Acide cyanhydrique, il semble bien résulter, comme l'indiquent BOYD et *al.* (1938) que celle-ci agit surtout en maintenant les plantes à un stade jeune, avec un taux élevé d'HCN. Cependant, si celles-ci, par suite de la sécheresse parviennent à un point de flétrissement très avancé, caractérisé par le jaunissement des feuilles, correspondant

en somme à un fanage, la teneur en HCN peut régresser et la culture devenir apte à être pâturée (cf. fig. 2).

*Le gel.* Au sujet de l'influence du gel, ROGER et BOYD (1936) n'ont pas constaté d'accidents chez des animaux ayant consommé du *Sorgho* touché par le gel, bien que les plantes aient, avant la manifestation de celui-ci, présenté des teneurs relativement élevées en HCN.

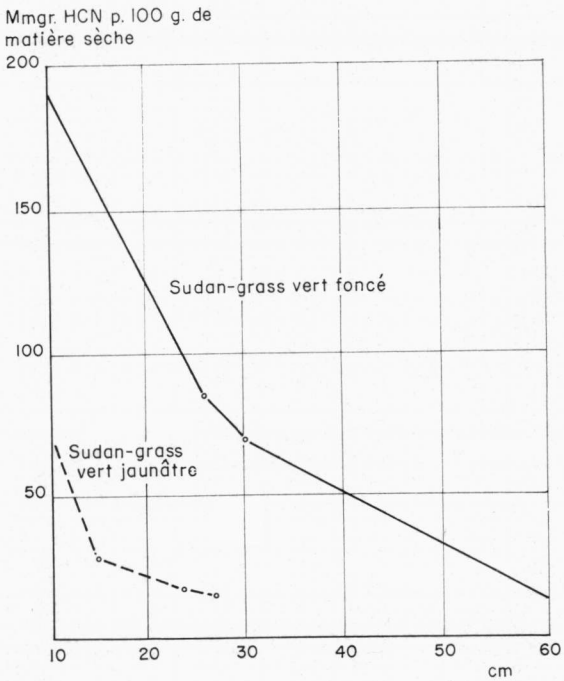



FIG. 2. — *Relations entre la hauteur et la teneur en acide cyanhydrique des repousses vert foncé et vert jaunâtre du* Sudan-grass
(D'après BOYD et *al.*, 1938)

Afin de prolonger la saison d'alimentation du bétail à l'extérieur, certains auteurs ont recommandé de laisser les plantes de *Sorgho* subir les premières gelées, puis de les faire pâturer. La technique permettant d'obtenir les meilleurs rendements pour l'ensemble de la saison consisterait dans ce cas à effectuer une coupe pour fourrage ou pour ensilage à un stade relativement précoce de la végétation — par exemple à l'épiaison — puis de laisser croître la repousse et la faire consommer sur pied après le gel.

*Le fanage* paraît abaisser dans une certaine mesure la teneur en acide cyanhydrique des plantes du *Sudan-grass*. Comme généralement le *Sudan* n'est pas coupé pour le foin avant qu'il n'ait atteint une hauteur de 100 cm environ, ou plus, par suite du peu de rendement qu'on obtient à des stades plus jeunes, il y a peu de danger d'empoisonnement. Mais, si au contraire il est coupé tôt, à une hauteur faible et avec un taux d'HCN élevé, l'herbe, même fanée risque d'être dangereuse à consommer.

*L'ensilage*, réalisé en général avec des plantes à un stade proche de la maturité,

ne présente pas, dans ce cas de danger. Des auteurs ont indiqué qu'une partie de l'HCN (HCN libre) se dégageait et par suite se trouvait éliminée au cours des manipulations du silage précédant la consommation. Pour favoriser cette élimination ils conseillent de pelleter le silage au moment de son apport à l'auge.

*Les éléments nutritifs.* La richesse, ou au contraire la carence du sol en éléments nutritifs assimilables paraissent avoir des effets diamétralement opposés sur la teneur en HCN des plantes.

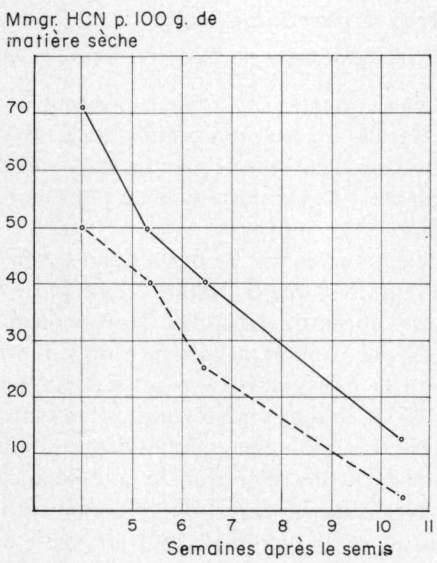



FIG. 3. — *Teneur en acide cyanhydrique lors de différents stades de croissance du* Sudan-grass, *avec ou sans azote*

(D'après BOYD et *al.*, 1938)

MAXWELL, dès 1903, incriminait la quantité d'azote fournie aux plantes comme élément favorisant l'augmentation de cette teneur.

BOYD et *al.* (1938) ont nettement confirmé cette assertion (fig. 3) et ont mis en outre en évidence l'interaction des fumures azotées et phosphatées. Si la plante dispose dans le sol de quantités faibles d'azote et d'acide phosphorique assimilables, sa teneur en toxique sera plus forte que dans le cas où le niveau serait bas en azote, mais accompagné d'un niveau élevé d'acide phosphorique.

Si ce dernier est élevé et que d'autres facteurs favorables à la croissance du végétal se trouvent conjugués (température, humidité...), alors, la plante sera capable d'atteindre une hauteur de 70 à 100 cm, donc de franchir également rapidement les stades de végétation auxquels elle est toxique, pour parvenir à un stade auquel elle devient inoffensive.

La fertilisation phosphatée paraît donc avoir une influence marquée sur la diminution du taux de l'HCN chez les plantes de *Sorgho*. Voici d'ailleurs, à ce sujet, quelques chiffres fournis par BOYD et *al.* (1938).

*Sudan-grass* cultivé sur sol très pauvre en $P^2O^5$, mais bien approvisionné en tous autres éléments :

127 mg HCN pour 100 grammes de matière sèche, 30 jours après le semis.

Le même *Sudan-grass* cultivé avec fertilisation complète :

36,3 mg HCN pour 100 grammes de matière sèche, 30 jours après le semis.

*Sorgho* cultivé sans $P^2O^5$ :

427,5 mg HCN pour 100 grammes de matière sèche, 6 semaines après le semis.

Le même *Sorgho*, avec fertilisation complète :

25,3 mg HCN pour 100 grammes de matière sèche, 6 semaines après le semis.

Ces chiffres paraissent éloquents. Il y a lieu cependant de signaler que des essais réalisés récemment en Australie sur *Sorghum almum*, analysé à 50 jours de végétation, ont montré que les fertilisations azotées ont un effet uniforme sur le niveau de l'acide cyanhydrique dans les plantes. Les apports d'acide phosphorique ont apparemment diminué le taux de l'HCN.

Franzke et Hume (1945) ont étudié l'influence, sur la teneur en HCN des plantes de Sorgho, de divers facteurs tels que la *fumure organique*, *l'humidité*, ainsi que des *lésions* artificiellement provoquées ou naturelles. Ils concluent que le fumier de ferme diminue le taux de HCN par rapport à l'absence de fumure organique, probablement parce qu'il accélère la croissance du végétal. L'augmentation de l'humidité du sol abaisse le taux d'HCN, la plus grande diminution étant obtenue par la conjugaison des facteurs : fumure organique + humidité, probablement, comme l'indiquaient Boyd et *al.* par suite de l'accélération de la croissance du végétal.

Les lésions provoquées dans les tissus de ce dernier ont pour effet de ralentir le développement, et par suite de maintenir un taux élevé de HCN dans la plante, et, plus particulièrement même, dans les pousses latérales, dont la sortie a été provoquée par les mutilations qu'elle a subies.

Gorzelewska et *al.* (1961) ont confirmé le rôle des nitrates dans la synthèse de l'HCN par les plantes.

Keith Henderson et Greg O. Hinze (1963) à Akron (Colorado) ont indiqué récemment les relations suivantes entre divers apports de fumure azotée et la teneur en HCN chez divers *Sorgho* et *Sudan-grass*.

*Teneur moyenne en HCN*

(en mmgr par K de matière verte) de plantes hautes de 40 à 45 cm.

| | 0 azote | 20 azote | 40 azote | Moyenne |
|---|---|---|---|---|
| *Sudan piper* | 161 | 134 | 222 | 172 |
| *Sudan wheeler* | 346 | 380 | 326 | 351 |
| *Sweet-Sudan* | 370 | 366 | 367 | 368 |
| *Sorghum almum* | 410 | 458 | 433 | 433 |
| *Sorgho grain* (Combine *Kafir 60*) | 460 | 454 | 508 | 474 |

De l'étude de ces derniers auteurs, il apparaît que le facteur variétal est peut être plus important encore que le facteur azote. Ce qui confirmerait les résultats des travaux australiens précédemment indiqués, relatifs au *Sorghum almum*.

## II. — *Les facteurs propres à la plante*

*Influence du stade de la croissance et des diverses parties de la plante sur la teneur en acide cyanhydrique.*

Il y a déjà longtemps que les teneurs les plus élevées en acide cyanhydrique ont été constatées chez les plantes les plus jeunes (MAXWELL, 1903).

PIEDALLU (1923) a démontré que le grain de *Sorgho*, mûr, ne renfermait pas de dhurrine. Dès la germination il a suivi la manifestation de l'HCN : celle-ci est assez lente du 2e au 14e jour, elle croît ensuite rapidement jusque vers le 24e jour, plus rapidement encore jusqu'aux environs du 36e jour, la production ralentit ensuite (cf. fig. 4).

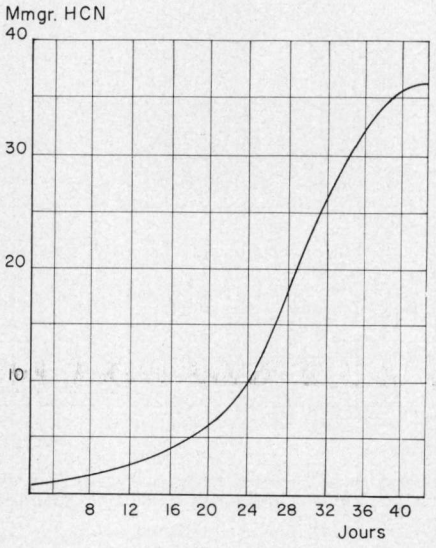



FIG. 4. — *Augmentation de la teneur en acide cyanhydrique au cours des premiers stades de végétation du* Sorgho
(D'après A. PIEDALLU, 1923)

Ce même auteur a enregistré la production d'acide cyanhydrique en fonction de la hauteur de la plante. La teneur atteint un maximum de 500 milligrammes par kg de matière verte lorsqu'elle a une hauteur de 10 centimètres, puis elle s'abaisse rapidement à 200 mg pour une hauteur de 12 à 15 cm. Elle n'est plus que d'environ 100 mg pour 25 cm ; puis peu à peu elle s'abaisse à 50 mg pour une hauteur des plantes de 150 cm (cf. fig. 5).

HINDMARSCH (1941) aboutit à un résultat analogue en suivant, en fonction de

l'âge, l'évolution de l'acide cyanhydrique chez trois types de *Sorgho*, pour lesquels il indique les teneurs suivantes :

*Teneur exprimée en mmgr par kg de plante verte*

Age de la plante, en jours

| | 42 | 64 | 90 | 97 | 132 |
|---|---|---|---|---|---|
| *Sudan grass* ..... | 90 | 120 | 40 | 30 | 0 |
| *Sorgho hybride*..... | 300 | 220 | 130 | 200 | 0 |
| *Feterita* ..... | 1 110 | 750 | 200 | 230 | 0 |

Pratiquement, le taux de HCN va en décroissant progressivement sauf accident au cours de la végétation, depuis une quarantaine de jours après le semis, jusqu'à la pleine épiaison, parfois même un peu auparavant. Ensuite il paraît se stabiliser à un niveau minimum.

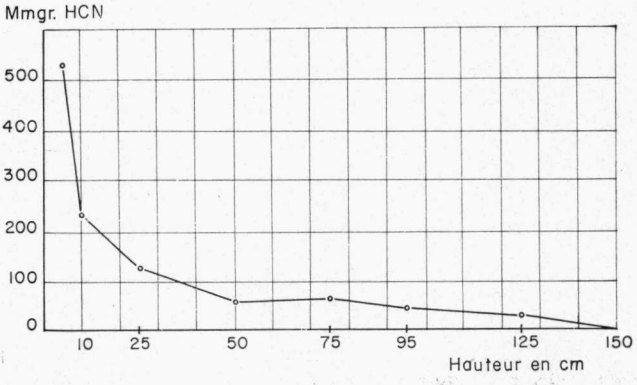



FIG. 5. — *Diminution de la teneur en acide cyanhydrique au cours de la croissance de la plante de* Sorgho (Sucré hâtif du Minnesota)

(D'après A. PIEDALLU, 1923)

En ce qui concerne les *teneurs en HCN des différentes parties de la plante* une étude importante a été réalisée par J. H. MARTIN et *al.* (1938) au Texas, au Nouveau Mexique, au Colorado et en Virginie (U. S. A.), en 1936 et 1937. En voici les résultats principaux :

Sur des plantes ayant atteint le stade du gonflement, la teneur des feuilles en acide cyanhydrique est de 3 à 25 fois celle des parties de la tige correspondantes. Les épis et les gaines foliaires ne renferment que de petites quantités d'HCN. Les feuilles du sommet, donc, les plus jeunes, sont nettement plus riches que les inférieures — les plus âgées (cf. fig. 6).

Dans la feuille elle-même, c'est la moitié supérieure (moitié proximale) qui a une

teneur plus élevée que l'inférieure (moitié distale). La teneur du limbe est d'environ 5 fois celle des nervures. La teneur des entrenœuds, de la tige, décroît progressivement de la partie supérieure vers la base de la plante. Les pousses axillaires, latérales, renferment plus de toxique que la tige principale et, dans la plupart des cas les talles ou rejets sont plus riches en HCN que la tige principale. (cf. tabl. 1, 2 et 3).

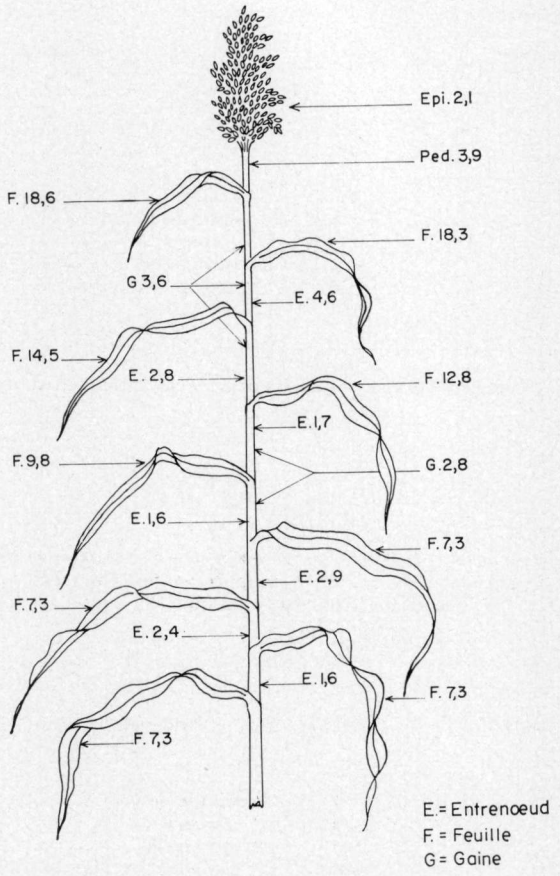



FIG. 6. — *Schéma d'une plante de* Sorgho *montrant les teneurs différentes en HCN des diverses parties* (en mmg p. 100 g de matière verte) (D'après J.-H. MARTIN et *al.*, 1938)

*Influence de la variété sur le taux de HCN.*

De nombreuses études relatives à l'influence de la variété sur la teneur en acide cyanhydrique des plantes ont été effectuées.

Suivant FAVERO (1953) ce sont les variétés de petite taille, qu'il s'agisse de *Sorgho* ou de *Sudan-grass*, qui contiennent le plus de HCN. HINDMARSCH (1941) a décelé chez le *Sorgho Feterita*, des teneurs 10 fois supérieures à celles du *Sudan-grass*, pour un même âge des plantes, de 42 jours. COLEMAN, en 1933 avait d'ailleurs déjà attiré l'attention sur le fait que, d'une manière générale les *Sorgho* contenaient au moins deux fois plus de HCN que les *Sudan-grass*.

TABLEAU I

*Teneur en acide cyanhydrique, en mmgr par kg de matière verte de différentes parties des plantes du* Sorgho Leoti (1)

à Dalhart (Texas) en 1936

| Parties de la plante | HCN mg | Parties de la plante | HCN mg |
|---|---|---|---|
| 1re feuille (Sommet) | 186 | Pédoncule de l'épi | 39 |
| 2e feuille | 183 | 2e et 3e entre-nœuds | 46 |
| 3e feuille | 145 | 4e entre-nœud | 28 |
| 4e feuille | 128 | 5e entre-nœud | 17 |
| 5e feuille | 98 | 6e entre-nœud | 16 |
| 6e feuille | 73 | 7e entre-nœud | 29 |
| Les 3 gaines supérieures | 36 | 8e entre-nœud | 24 |
| 4e et 5e gaines | 28 | 9e entre-nœud | 16 |
| Épis | 21 | Plante entière | 84 |

(1) Plantes âgées de 13 semaines (après le semis). Hauteur 70 cm, épiées, fortement flétries.

TABLEAU 2

*Teneur en acide cyanhydrique, en mmgr par kg de matière verte de différentes parties des plantes de* Sorgho Hegari (1)
à Tucumcari (Nouveau-Mexique) en 1937

d'après J. H. MARTIN et *al.* 1938

| Parties de la plante | HCN mg | Parties de la plante | HCN mg |
|---|---|---|---|
| 1re feuille (Sommet) | 394 | Pédoncule de l'épi | 110 |
| 2e feuille | 473 | 2e entre-nœud | 46 |
| 3e feuille | 523 | 3e entre-nœud | 35 |
| 4e feuille | 560 | 4e entre-nœud | 30 |
| 5e feuille | 503 | 5e entre-nœud | 26 |
| 6e feuille | 467 | 6e entre-nœud | 21 |
| 7e feuille | 519 | 7e entre-nœud | 23 |
| 8e feuille | 515 | 8e et 9e entre-nœuds | 22 |
| 9e feuille | 481 | 10e et 11e entre-nœuds | 24 |
| 10e feuille | 429 | Entre-nœuds de la base | 15 |
| 11e feuille | 336 | Plante entière | 291 |
| 12e feuille | 275 | Épi | 141 |
| 13e feuille | 190 | | |

(1) Plantes succulentes. Hauteur 105 cm, épiées.

Pour 4 variétés de *Sudan-grass* soumises par ailleurs à diverses époques de coupe à la Station expérimentale agricole du Nebraska, on a enregistré les teneurs suivantes en acide cyanhydrique (exprimées en milligrammes par kg de matière sèche) (cf. tabl. 4). Il s'agit de 5 coupes effectuées successivement sur la même parcelle.

TABLEAU 3

*Teneur en acide cyanhydrique de différentes parties de la feuille de* Sorgho

à Arlington (Virginie) en 1936

| Variété | Parties de la feuille | HCN en mg par kg de matière verte |
|---|---|---|
| *Hegari* ..... | Feuille entière | 124 |
| *Hegari* ..... | Même feuille, moins nerv. princ. | 143 |
| *Hegari* ..... | Nervure principale | 24 |
| *Hegari* ..... | Moitié distale de la feuille | 67 |
| *Hegari* ..... | Moitié proximale de la feuille | 162 |

TABLEAU 4

*Variations de la teneur en HCN* (1) *suivant la variété et l'époque de la coupe*

(Nebraska Exp. Sta.)

| Variétés | 28 juin | 22 juillet | 12 août | 2 septembre | 19 octobre | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Sudan Piper* ..... | 815 | 438 | 463 | 216 | 112 | 391 |
| *Sudan Wheeler* ..... | 1 341 | 772 | 840 | 513 | 273 | 707 |
| *Sudan Greenleaf* ... | 1 668 | 1 109 | 1 057 | 535 | 228 | 879 |
| *Sweet-Sudan 370*.... | 1 857 | 1 307 | 1 343 | 870 | 721 | 1 184 |

(1) Exprimée en milligrammes par kg de matière sèche.

On constate, d'une part de grandes différences de teneurs en HCN selon la variété, et d'autre part une évolution de la teneur pendant la saison, se traduisant par une baisse assez régulière.

D'après WILLAMAN J. J. et WEST R. M., (1916) les différences variétales sont probablement davantage responsables du taux de l'HCN que les conditions de la croissance.

## L'HÉRÉDITÉ DU CARACTÈRE : TENEUR EN ACIDE CYANHYDRIQUE DE LA PLANTE — SON ÉTUDE EN VUE DE L'AMÉLIORATION

COLEMAN et ROBERTSON (1938) ont montré que les différences de teneurs en HCN entre plusieurs lignées de *Sudan-grass* étaient héréditaires. Ils ont noté quelques corrélations entre teneur élevée d'une part et d'autre part l'absence de pruinosité des feuilles, la pigmentation pourpre des extrémités des feuilles des plantules.

SCHIEBLICH (1938) a constaté également des différences du taux de l'HCN entre diverses lignées autofécondées de *Sudan-grass*, il a suggéré qu'une basse teneur en HCN pouvait être un caractère récessif.

C'est la constatation que FRANZKE, PUHR et HUME (1939) ont faite aussi chez le *Sorgho :* le caractère faible teneur en HCN est récessif, et les ségrégations en $F_2$ et en $F_3$ indiquent qu'il se trouve sous la dépendance de seulement un ou deux gènes majeurs, avec cependant peut-être un certain nombre de modificateurs.

L'hérédité du taux d'acide cyanhydrique a été recherchée chez le *Sudan-grass* par HOGG et AHLGREN (1943), en réalisant 11 croisements entre lignées de *Sudan-grass* à teneur faible et à teneur élevée.

Les plantes $F_1$ testées en serre étaient généralement intermédiaires entre les parents pour l'HCN. Les $F_2$ se classaient aux environs de la moyenne entre les parents. Dans 5 cas sur 11, le niveau HCN du plus faible parent n'est pas atteint. Dans 5 cas, le niveau HCN du parent le plus fort a été dépassé.

La population globale de 890 plantes présentait une distribution voisine de la courbe normale, ne montrant aucune tendance à la bimodalité.

Dans 4 croisements entre parents à faible teneur, la distribution en $F_1$ était sensiblement la même que celle des parents. L'augmentation de vigueur (due à l'hétérosis) en $F_1$ et $F_2$ n'était pas accompagnée par un accroissement de la teneur en HCN.

Tous les résultats donnent à penser que la teneur en acide cyanhydrique est héréditaire, mais qu'elle est vraisemblablement sous la dépendance de plus d'une seule paire de gènes.

### *Possibilités d'amélioration des Sorghos et Sudan-grass par obtention de lignées à faible teneur en acide cyanhydrique*

Chez 20 lignées autofécondées de *Sudan-grass* testées par HOGG et AHLGREN (1943) ces auteurs obtinrent une réduction marquée de la vigueur végétative, et encore plus, de la production des graines. Par sélection continue cependant il leur a été possible d'obtenir des lignées à faible teneur en HCN tout en conservant une bonne vigueur de la végétation.

D'ailleurs des exemples de réalisation de variétés à faible taux d'acide cyanhydrique nous sont donnés par le *Sorgho Rancher*, et par le *Sudan Piper*, dont nous indiquons les schémas des processus d'obtention dans la figure 7.

Ce dernier *Sudan-grass* peut être considéré comme étant actuellement le type présentant le plus faible niveau en HCN.

A partir d'un croisement entre *Sudan commun* (en Géorgie U. S. A.) et *Sorgho Leoti*, un individu résultant de l'hybridation a été recroisé avec le *Sudan*, une sélection

en a été tirée : le *Tift Sudan*, qui présente des caractères morphologiques intermédiaires entre ceux du *Sudan* et ceux du *Sorgho*. Mais sa teneur en HCN étant en moyenne 2 fois supérieure à celle du *Sudan* commun, on l'a recroisée avec un *Sudan commun* à la Station expérimentale agricole du Wisconsin, où elle a donné la variété de *Sudan Piper*. Celle-ci est hétérogène pour la couleur des plantes et des glumes. Elle présente une grande finesse des tiges et des feuilles, une remarquable aptitude de repousse après la coupe et enfin une teneur en acide cyanhydrique très faible qui en permet la consommation en vert à peu près à tous les stades de la végétation.

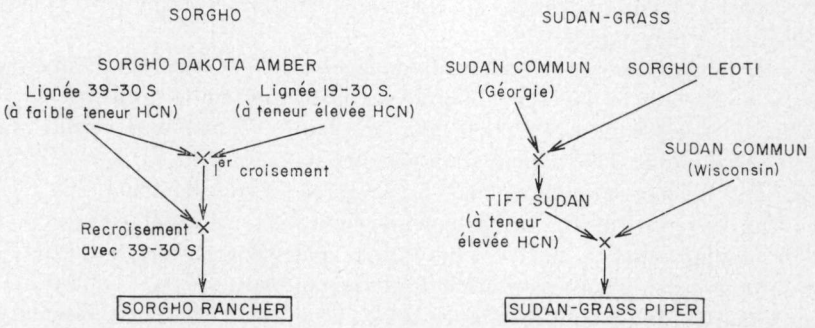



FIG. 7. — *Exemples schématisés de l'obtention de variétés à faible teneur en HCN*

La variété *Trudan* 1, obtenue par hybridation, entre deux lignées de *Sudan*, présente des caractères voisins de ceux de *Piper* tant pour la végétation que pour le taux de l'acide cyanhydrique, avec un potentiel de rendement fourrager supérieur à celui du *Sudan Piper*.

## ÉTUDES RELATIVES AUX TENEURS EN ACIDE CYANHYDRIQUE DES PLANTES DE « SORGHO, SUDAN-GRASS, SWEET-SUDAN » ET HYBRIDES « SORGHO × SUDAN » EFFECTUÉES PAR LA STATION D'AMÉLIORATION DES PLANTES DE MONTPELLIER, DE 1963 A 1965

Ces études ont été réalisées sur du matériel végétal provenant de collection et d'essais comparatifs cultivés à Montpellier à l'irrigation sur le Domaine de Lavalette, ou en sec, sur le Domaine même de l'École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier.

### *Méthode*

La méthode utilisée pour les déterminations des teneurs en HCN est celle de HOGG et AHLGREN que nous avons décrite dans un paragraphe précédent. Une légère modification a été apportée : le chloroforme a été remplacé par du toluène, de manipulation plus aisée.

### *Échantillonnage*

Tous les échantillons ont été prélevés sur la partie médiane du limbe (à l'exclusion de la nervure centrale) de la dernière feuille étalée, celle-ci étant caractérisée par le taux en HCN le plus élevé de toutes les parties de la plante. On obtient ainsi une valeur de la teneur en HCN probablement assez

supérieure à celle qui résulterait d'un échantillonnage complet, intéressant la plante entière. Nous considérons qu'il est plus prudent d'indiquer des teneurs excessives en toxique, que des niveaux trop faibles, étant donné qu'il s'agit de plantes destinées à être consommées.

## *Résultats*

### *Analyses effectuées en 1963.*

Celles-ci ont eu principalement pour objet d'une part la mise au point de l'échantillonnage, et la familiarisation de l'expérimentateur avec les techniques d'analyse, et d'autre part la comparaison des teneurs en acide cyanhydrique de diverses catégories de *Sorghos* fourragers.

Les recherches concernant l'échantillonnage ont été effectuées la première année, sur 4 à 10 prélèvements effectués d'abord sur la même feuille d'une même plante, ensuite sur des feuilles du même étage de 4 à 8 plantes d'une même variété. En conclusion, on a adopté le prélèvement d'un échantillon par plante sur 4 individus d'une même variété. La moyenne des 4 analyses est prise en considération.

Les chiffres représentatifs de ces teneurs, figurant dans le tableau 5, correspondent à des milligrammes d'acide cyanhydrique par kilogramme de matière verte, ils sont obtenus par la traduction numérique des comparaisons des colorations obtenues par l'analyse des échantillons avec celles des étalons colorés de référence dont on connaît la teneur en mg. de HCN.

Sauf indications contraires, il s'agit toujours de plantes en parfaite fraîcheur, venant d'être récoltées, à des stades de végétation compris entre le gonflement et l'épiaison. Ces stades relativement avancés de la croissance des plantes expliquent les faibles teneurs en HCN généralement enregistrées.

### *Conclusions.*

Les conclusions que l'on peut tirer de cette première série d'analyses sont les suivantes :

1° ce sont en général les types les plus précoces, ceux dont la végétation atteint le plus rapidement un stade avancé, qui présentent les teneurs en acide cyanhydrique les moins élevées : ce sont les *Sudan-grass*, *Commun* et *Piper*. Ces derniers semblent peu dangereux pour la consommation en vert, aux stades auxquels ont été effectués les prélèvements. Par contre, des teneurs nettement plus fortes se constatent chez *Saturno* et chez *Satiro*.

Si dans l'ensemble les *Sweet-Sudan* paraissent un peu plus riches en HCN que les *Sudan-grass* on constate cependant parmi eux des différences parfois sensibles, en relation toujours, semble-t-il, avec la précocité (les plus tardifs, dont : *Sorghum vulgare Giza 3* et *Gentile*, étant les plus riches en HCN).

2° Les hybrides *Sorgho* × *Sudan* présentent des teneurs en HCN assez voisines de celles des *Sweet-Sudan* (*Sordan* et *Grazer*) ou supérieures (*Hybar M. V.* 301 hybride provenant de la Station de Martonvasar en Hongrie, qui par ailleurs possède des caractères végétatifs qui le rapprochent davantage des *Sorgho* que des *Sudan*).

3° Dans le cas d'analyses portant sur des feuilles situées à des étages divers d'une même plante, les taux de HCN les plus élevés ont toujours été enregistrés sur les feuilles supérieures.

TABLEAU 5

*Teneurs en acide cyanhydrique de divers types de* Sorghos *fourragers déterminées aux stades du gonflement à début d'épiaison à Montpellier en 1963*

(Moyennes de 9 déterminations pour la plupart des variétés)

| Variétés | Provenance | Teneur en HCN en mg par kg de matière verte |
|---|---|---|
| Sudan grass ; | | |
| *Piper* certifié | 1 | inférieure à 33 |
| *Piper* | 2 | — |
| *Piper* | 3 | — |
| *Sorghum Sudanense* | 5 | — |
| *Sudan-grass* 8022 | 3 | — |
| *Menu Sudan* commun | 1 | — |
| *Menu Sudan* commun | 2 | — |
| *P. B. Bari* | 3 | — |
| *Saturno* | 3 | inférieure à 132 |
| *Satiro* | 3 | 132 |
| Sudan × Sudan ; | | |
| *Trudan I* | 4 | 33 |
| Sweet-sudan ; | | |
| *Sweet-Sudan* | 7 | inférieure à 33 |
| *Sweet-Sudan* | 8 | — |
| *Sweet-Sudan* | 1 | — |
| *Sweet-Sudan* | 2 | — |
| *Sweet-Sudan* | 10 | inférieure à 66 |
| *Sweet-Sudan* | 8 | — |
| *Sweet-Sudan* | 3 | — |
| *Auge-Grass* | 1 | — |
| *Ægyptian wheat* | 3 | — |
| *Sorghum vulgare Giza* 3 | 3 | 132 |
| *Gentile* | 3 | inférieure à 266 |
| Hybrides Sorgho × Sudan ; | | |
| *Sordan* | 4 | 33 |
| *Grazer* | 6 | 66 |
| *Hybar MV 301* | 9 | 132 |
| Sorgho Fourragers Hybrides ; | | |
| *Alamo* | 6 | 66 |
| *Beetbuilder* | 6 | 66 |
| Divers ; | | |
| *Sorghum almum* | 2 | 66 |
| *Sorghum halepense* | spontané | 66 |

LÉGENDE DES PROVENANCES

1 Établissements Genest 1962
2 Établissements Genest 1963
3 Station Elvas (Portugal) 1962
4 Établissements Tourneur 1963
5 FAO 1956
6 Asgrow (Italie) 1963
7 Coopérative Agricole Lauragaise 1957
8 G. N. I. S. 1957
9 Station Martonvàsàr (Hongrie) 1963
10 Établissements Laugier 1963

*Analyses effectuées en 1964.*

Ces analyses ont porté uniquement sur les types paraissant les plus intéressants pour la consommation en vert, c'est-à-dire *Sudan-grass, Sweet-Sudan* et hybrides *Sorgho* × *Sudan*. Les échantillons ont été prélevés dans des essais destinés à comparer le comportement et le rendement de ces divers types suivant divers modes d'exploitation, d'une part à l'irrigation, d'autre part en culture sèche (cf. tabl. 6 A et 6 B).

TABLEAU 6

*Teneurs en acide cyanhydrique de divers* Sudan-Grass, Sweet-Sudan *et Hybrides* Sorgho × Sudan, *à différents stades de leur végétation, en culture sèche ou irriguée, à Montpellier, en 1964*

A. — En culture irriguée

| Variétés | Teneurs HCN en mg par kg de matière verte | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Première pousse | | | | | Repousse à 0,80 cm | |
| | Hauteur 0,40 cm | Hauteur 0,80 cm | Hauteur 120 à 150 gonfl. à déb. épi | Grain laiteux | Grain pâteux | Fraîche | Fanée 24 h |
| *Sudan Piper* ..... | 66 | 66 | 66 | < 66 | < 66 | 66 | < 66 |
| *Trudan I* ..... | 79 | 79 | 79 | < 66 | < 66 | 115 | 66 |
| *Sweet-Sudan* ..... | 99 | 79 | 79 | < 66 | < 66 | 216 | 132 |
| *Sorghum almum* .. | 132 | 132 | 99 | < 66 | < 66 | > 330 | 132 |
| *Sudax Sx 11* ..... | 132 | 132 | 99 | < 66 | < 66 | 132 | 132 |
| *Grazer* ..... | 132 | 115 | 99 | < 66 | < 66 | 132 | 132 |

B. — En culture sèche

| Variétés | Teneurs en HCN en mg par kg matière verte | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Première pousse | | | | Talles secondaires | |
| | Hauteur 0,20 cm | Hauteur 0,40 cm | 0,80 cm ou gonfl. | 100 cm ou épiais. | 0,20 cm fraîches | 0,20 cm fanées |
| *Sudan Piper* ..... | 66 | 66 | 66 | < 66 | 66 | < 66 |
| *Trudan I* ..... | 66 | 66 | 66 | < 66 | — | — |
| *Sweet-Sudan* ..... | 79 | 79 | 79 | < 66 | 79 | < 66 |
| *Sorghum Almum* ... | 200 | 132 | 99 | 66 | 155 | 99 |
| *Sudax Sx 11* ..... | 125 | 99 | 79 | 66 | — | — |
| *Grazer* ..... | 79 | 79 | 79 | 66 | 99 | 66 |

*Conclusions.*

On peut tirer les conclusions suivantes :

a) *En ce qui concerne les plantes cultivées à l'irrigation et avec apports azotés.*

Les analyses effectuées sur la *première pousse* montrent :

1° Une diminution progressive de la teneur en HCN depuis le stade 0,40 cm de

hauteur des plantes (premiers prélèvements) jusqu'au stade du grain laiteux. Le niveau de l'HCN étant très bas à ce dernier stade, les échantillonnages réalisés au stade suivant, du grain pâteux (derniers prélèvements) n'ont pas permis d'enregistrer de degré plus bas.

2° Lors des premiers stades : 0,40 cm et 0,80 cm de hauteur des plantes, on observe entre les variétés des différences assez nettes de teneurs en HCN, l'échelle est la suivante : au niveau le plus bas, le *Sudan Piper ;* puis ensemble *Trudan* 1 et *Sweet-Sudan*, enfin *Sorghum almum*, avec les hybrides *Sorgho* × *Sudan*. Au stade début laiteux du grain, les différences disparaissent.

Les analyses effectuées sur la *repousse après coupe* indiquent d'une façon générale des taux d'HCN plus élevés que sur la pousse principale lorsque celle-ci avait la même hauteur (0,80 cm) sauf pour *Piper* et les hybrides *Sorgho* × *Sudan*, par contre *Sweet-Sudan* et surtout *Sorghum almum* présentent une très forte augmentation du toxique dans la repousse.

Lorsque les repousses sont soumises à un fanage naturel pendant 24 heures, les teneurs en HCN subissent un léger abaissement, en particulier chez les types qui présentaient les taux les plus élevés (*Sweet-Sudan* et *Sorghum almum*).

b) *En ce qui concerne les plantes cultivées en sec, et sans azote.*

Les analyses effectuées sur la *première pousse* mettent en évidence :

D'une part 1) le même phénomène que dans le cas des plantes cultivées à l'irrigation, à savoir : la diminution du taux d'HCN depuis les premiers stades de la végétation vers les stades adultes, pour descendre à un taux très bas dès l'épiaison.

D'autre part 2) des différences aussi, entre les types, qui vont en s'atténuant avec l'âge des plantes. C'est toujours et surtout le *Sorghum almum* qui présente le taux de HCN le plus élevé.

Sur les *talles secondaires* (il ne s'agit pas ici de repousse), prélevées alors que la pousse principale atteignait les stades adultes, les teneurs ne sont pas plus élevées que sur cette dernière lorsqu'elle avait la même hauteur. La teneur la plus forte se constate toujours chez *Sorghum almum*.

Chez les talles une fois fanées pendant 24 heures on enregistre une diminution de la teneur en toxique.

c) Si on compare, sur les mêmes variétés et à un stade identique de la végétation, les teneurs en HCN dans les deux situations : *culture irriguée avec apports azotés et culture en sec et sans azote*, on ne constate pas de différences sensibles, excepté peut-être pour les hybrides *Sorgho* × *Sudan* dont les teneurs en toxique paraissent un peu plus faibles en culture sèche.

*Analyses effectuées en 1965.*

L'étude a porté sur des plantes de 6 types de *Sudan-grass* et de *Sweet-Sudan* et 5 hybrides *Sorgho* × *Sudan*, cultivés à l'irrigation et soumis à 3 modes d'exploitation :

$R_1$ : coupes successives à 0,40 cm de hauteur (4 ou 5 exploitations),
$R_2$ : coupes successives à 0,80 cm de hauteur (3 exploitations),

$R_3$ : coupes successives, la première à 0,80 cm de hauteur, la deuxième au stade début pâteux du grain (2 exploitations).

Les modes d'exploitation $R_1$ et $R_2$, ainsi que $R_3$ en première coupe, correspondant à des exploitations par pâturage, $R_3$ en deuxième coupe, à une récolte pour l'ensilage.

Les teneurs en HCN des variétés aux différentes coupes sont rapportées dans le tableau suivant (cf. tabl. 7).

TABLEAU 7

*Teneurs en acide cyanhydrique des plantes de divers* Sudan, Sweet-Sudan *et Hybrides* Sorgho × Sudan, *suivant divers modes d'exploitation, à l'irrigation, à Montpellier, en 1965*

Teneurs en HCN exprimées en mmgr par kg de matière verte

| Variétés | $R_1$ : coupes à 0,40 cm | | | | $R_2$ : coupes à 0,80 cm | | | $R_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1er c. | 2e c. | 3e c. | 5e c. | 1er c. | 2e c. | 3e c. | 1er c. | 2e c. |
| Sudan et Sweet-Sudan | | | | | | | | | |
| *Sudan* commun ..... | 99 | 62 | 25 | < 16 | 54 | 33 | — | 54 | < 16 |
| *Sudan Piper certifié* ..... | 91 | 49 | 17 | < 16 | 50 | 33 | — | 50 | < 16 |
| *Sorghum Sudanense* (FAO) | 99 | 74 | 25 | 20 | 58 | 33 | 17 | 58 | — |
| *Trudan I* ..... | 66 | 41 | 17 | < 16 | 54 | 33 | — | 54 | — |
| *Trudan II* ..... | 66 | 41 | 17 | < 16 | 50 | 38 | < 16 | 50 | — |
| *Sweet-Sudan* ..... | 166 | 106 | 71 | < 16 | 115 | 87 | — | 115 | — |
| Hybrides Sorgho × Sudan | | | | | | | | | |
| *1 220* G P V ..... | 140 | 62 | 46 | 20 | 62 | 38 | — | 62 | — |
| *Sordan* ..... | 191 | 90 | 41 | — | 107 | 38 | — | 107 | — |
| *Sudax Sx 11* ..... | 174 | 166 | 70 | — | 142 | 50 | 66 | 142 | — |
| *Grazer* ..... | 257 | 141 | 58 | 41 | 91 | 38 | 66 | 91 | — |
| *Hybar MV 301* ..... | 200 | 149 | 66 | — | 149 | 64 | 82 | 149 | — |

*Conclusions.*

Les constatations essentielles peuvent se résumer ainsi :

1° Pour l'ensemble des variétés, il y a diminution des teneurs en HCN des plantes de la première à la dernière coupe de chacun des modes d'exploitation, alors même qu'il s'agit de plusieurs repousses successives.

2° Le fait d'exploiter à 0,80 cm de hauteur (1 coupe de $R_2$) au lieu de 0,40 cm (1re coupe de $R_1$) diminue sensiblement le niveau du toxique dans les plantes, de 35 p. 100 environ pour les *Sudan* et *Sweet-Sudan*, de 45 p. 100 environ pour les hybrides *Sorgho* × *Sudan*.

3° A toutes les coupes de tous les modes d'exploitation, les teneurs en HCN sont plus élevées chez les hybrides *Sorgho* × *Sudan*, que chez les *Sudan*, comme l'indique nettement le tableau ci-dessous (tabl. 8), ainsi que les trois diagrammes qui font suite (fig. 8-1, 8-2 et 8-3).

TABLEAU 8

*Modes d'exploitation*

| | $R_1$ | | | | $R_2$ | | | $R_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Teneurs relat. HCN % | 1re coupe | 2e coupe | 3e coupe | 5e coupe | 1re coupe | 2e coupe | 3e coupe | 1re coupe |
| Des *Sudan* et *Sweet-Sudan*..... | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Des hybrides *Sorgho* × *Sudan*..... | 197 | 196 | 197 | 183 | 205 | 106 | 431 | 205 |

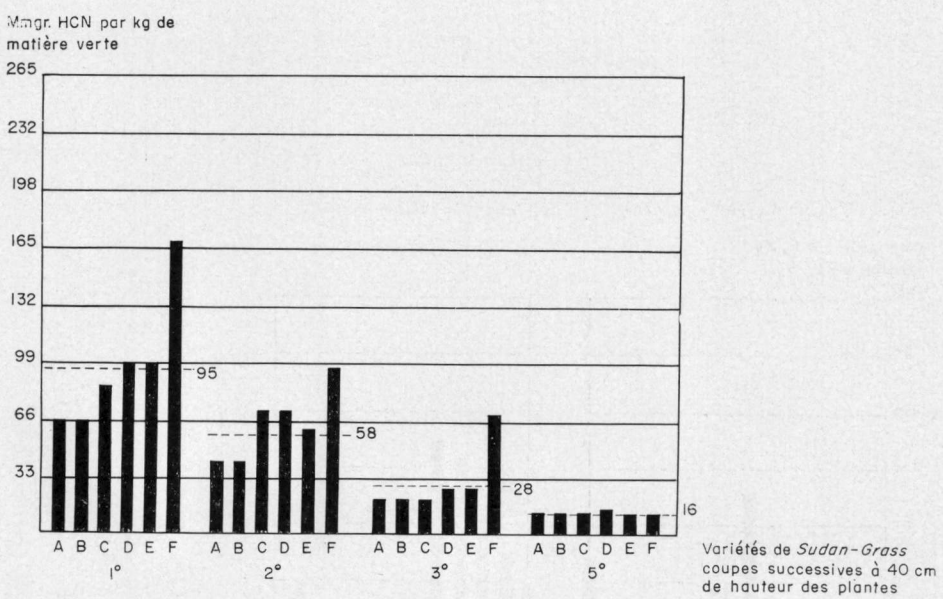



FIG. 8$_1$. — *Comparaison des teneurs en acide cyanhydrique de la dernière feuille de divers* Sudan-grass *lors de coupes successives à 40 cm de hauteur des plantes*

(à Lavalette, Montpellier en 1965)

A : *Trudan 1*
B : *Trudan 2*
C : *Piper*
D : *Sorghum sudanense* (FAO)
E : *Sudan* commun
F : *Sweet-sudan*

— — — Teneur moyenne pour le groupe de variétés, à chaque coupe.

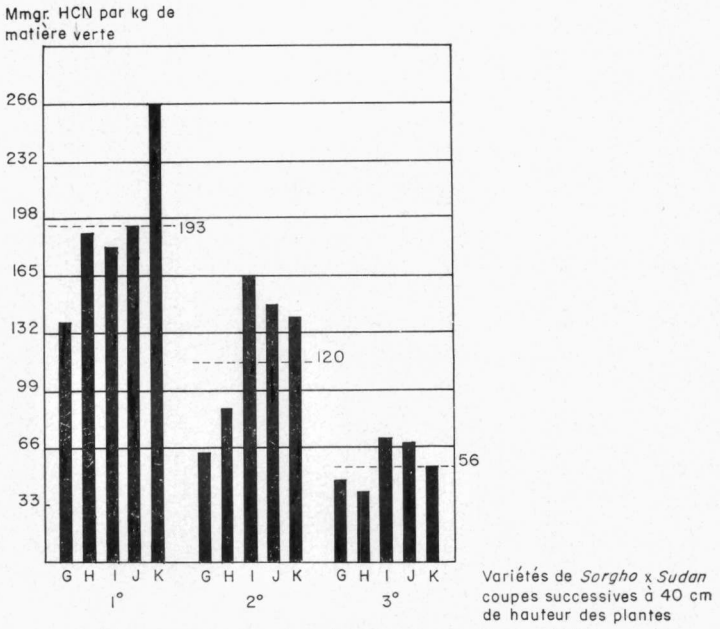



FIG. 8$_2$. — *Comparaison des teneurs en acide cyanhydrique de la dernière feuille de divers hybrides* Sorgho × Sudan-grass, *lors de coupes successives à 40 cm de hauteur des plantes*
(à Lavalette, Montpellier en 1965)

G : *1 220 G. PV supersu*
H : *Sordan*
I : *Sudax Sx 11*
J : *Hybar MV. 301*
K : *Grazer*

— — — Teneur moyenne pour le groupe de variétés, à chaque coupe.

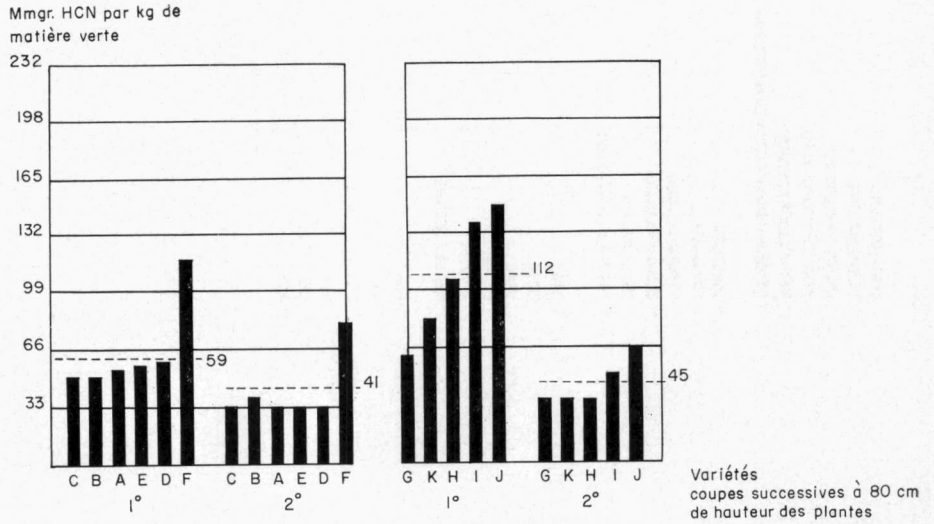



FIG. 8-3. — *Comparaison des teneurs en acide cyanhydrique de la dernière feuille de divers* Sudan-grass *et hybrides* Sorgho × Sudan, *lors de coupes successives à 80 cm de hauteur des plantes*
(à Lavalette, Montpellier en 1965)

*Sudan-grass*
A : *Trudan 1*
B : *Trudan 2*
C : *Piper*
D : *S. sudanense* (FAO)
E : *Sudan* commun
F : *Sweet-sudan*

*Sorgho* × *Sudan*
G : *1 220 G.*
H : *Sordan*
J : *Hybar MV. 301*
K : *Grazer*

— — — Teneur moyenne pour le groupe de variétés, à chaque coupe.

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES

### *Appréciations relatives à la méthode d'analyse*

Le travail de détermination des teneurs en acide cyanhydrique des plantes de divers types de *Sorghos* fourragers exploités à différents stades de leur développement, effectué par la Station d'Amélioration des Plantes de Montpellier, confirme par ses résultats les observations réalisées dans d'autres pays.

La méthode d'analyse décrite et utilisée n'est certes pas nouvelle, elle a fait ses preuves depuis déjà un certain nombre d'années, en France même elle a notamment servi à la détermination des teneurs en acide cyanhydrique de types de Trèfle blanc (*Trifolium repens* L.).

Étant donné l'influence du milieu et du stade de développement des plantes, sur la teneur en toxique, les résultats procurés par l'emploi de la méthode d'analyse ne doivent être pris en considération que si les prélèvements ont été effectués sur des plantes cultivées dans des conditions et ayant atteint des stades de croissance identiques.

Dans le cas des *Sorghos* fourragers, la méthode d'analyse constitue un bon instrument, d'un emploi aisé, permettant de tester des lignées en cours de sélection, les unes par rapport aux autres, dès leurs premiers stades de végétation, et même si leurs teneurs en acide cyanhydrique sont relativement peu élevées.

De toute manière, les résultats ne peuvent faire l'objet d'interprétation directe quant à l'alimentation du bétail, d'une part parce qu'ils ne sont pas représentatifs des teneurs en acide cyanhydrique des plantes entières (à ce point de vue ils offrent cependant une certaine garantie, parce que acquis sur les parties des plantes les plus riches en toxique), d'autre part à cause de l'individualité biologique de l'animal consommateur, présentant plus ou moins de résistance au poison. C'est pourquoi il y a lieu d'observer les prescriptions que nous donnons ci-après.

### *Précautions à observer dans l'emploi pour la consommation en vert par le bétail des Sorgho, Sudan-Grass, Sweet-Sudan et Hybrides Sorgho × Sudan*

Coupées ou pâturées aux premiers stades de la végétation, ces plantes n'offrent que des rendements relativement bas en matière sèche, mais donnent une herbe plus digestible, plus nutritive par suite d'une teneur plus élevée en protéines et acides aminés, qu'à des stades plus avancés. Très appétée par les animaux, elle est rafraîchissante et vient à une époque de l'année où les prairies sont déficitaires du fait de la sécheresse.

L'emploi en vert de ces plantes fourragères présente donc un très grand intérêt et est à recommander dans les fermes d'élevage.

Cependant afin d'éviter le plus possible les risques de perte de bétail par empoisonnement dû au principe toxique que renferment les plantes à des taux plus ou moins élevés aux stades jeunes de la végétation, il y a lieu de mettre toutes les chances de son côté et d'observer un certain nombre de prescriptions que nous allons passer en revue.

Celles-ci s'appliquent avec plus ou moins de rigueur à toutes les catégories de ces fourrages d'été.

1° Avant même l'établissement de la culture, dans les régions sèches en été et où on ne dispose pas de l'irrigation, pour assurer la conservation de l'eau dans le sol, on devra dans toute la mesure du possible effectuer les *labours avant ou pendant l'hiver*. Ces labours devront être suivis avant le semis de façons culturales destinées à la fois au maintien de l'humidité et à la destruction des mauvaises herbes, facteur de l'épuisement de celle-ci et d'accroissement de la teneur en acide cyanhydrique des *Sorgho* (Orlov 1964).

2° La fumure minérale devra être bien pourvue en *acide phosphorique*, la fumure azotée, moyenne (de l'ordre de 50-60 UN/ha avant le semis ou dès la levée). L'apport d'azote pourra comporter des fractions de 40 UN/ha supplémentaires, après chaque exploitation (coupe ou pâture) si l'humidité du sol en laisse prévoir l'utilisation par les plantes. De toutes manières il est inutile de dépasser 200 UN/Ha, sinon l'azote se trouve gaspillé en pure perte et il y a des risques d'accumulation de nitrates toxiques dans les plantes (Sumner et *al.* 1965).

Grâce à l'action conjuguée de l'humidité et de l'azote, les plantes pourront atteindre le plus rapidement possible des hauteurs et des stades de végétation auxquels elles renferment des teneurs en toxique moins élevées.

3° A la fois à cause du danger d'intoxication, et de façon à profiter d'une production plus importante, *il y a lieu de ne pas faire pâturer les* Sudan-grass *avant que les plantes n'aient atteint une hauteur de* 50 *cm et, dans le cas des hybrides* Sorgho × Sudan, *au moins* 0,80 *cm*.

La continuité du pâturage pourra être facilement obtenue en ayant 2 ou plusieurs parcelles, de manière à pouvoir faire passer le bétail de l'une à l'autre.

4° Si dans les champs de *Sorgho* ou *Sudan* on constate des plages où les plantes sont courtes et retardées pour des raisons diverses, il est préférable, par précaution, d'en tenir les bêtes à l'écart et, si c'est possible, d'effectuer la détermination de la teneur en acide cyanhydrique des plantes de ces plages.

5° Dans le but de prolonger la période d'utilisation de l'herbe jusqu'à la fin de l'automne, la meilleure méthode dans le cas des *Sorgho* et *Sudan-grass* est d'en retirer une exploitation en été d'assez bonne heure, de façon à obtenir une repousse assez forte à l'automne. Il est préférable d'avoir un peu de gaspillage d'herbe haute par le bétail qui pâture, que des empoisonnements par des repousses trop jeunes et trop courtes. Si la repousse n'est pas trop riche en HCN avant les gelées, elle peut être pâturée après celles-ci.

6° D'une manière générale, pour les types de *Sorghos* fourragers sur lesquels notre expérimentation a porté jusqu'à ce jour, *les risques les plus grands d'empoisonnement proviennent en premier lieu des* Sorgho, *ensuite semble-t-il, des hybrides* Sorgho × Sudan *et des* Sweet-Sudan, *puis en dernier lieu des* Sudan-grass *véritables*. Il y a lieu de *proscrire pour le pâturage* le *Sorghum almum*, ainsi que le *Sorghum halepense* ; ces *Sorghos* seront réservés pour l'utilisation en foin ou en ensilage.

7° *Les précautions doivent être redoublées si les cultures ont subi des dégâts*, pour une raison quelconque : sécheresse, froid, vent, verse, piétinement, lésions mécani-

ques, atteintes généralisées de parasites... et d'une façon générale par suite de tout facteur ayant retardé la croissance des plantes.

8° Il est dangereux de faire pâturer, ou d'apporter en vert à l'auge, de jeunes repousses de *Sorgho-grain* après la moisson de celui-ci.

9° En début de pâturage il est recommandé de lester les animaux avec un autre fourrage, de façon qu'ils ne soient pas affamés lorsqu'ils sont mis en contact avec les *Sorgho* et *Sudan* en herbe.

10° Dans les cas d'intoxication : le bétail peut parfois survivre, s'il n'a pas ingéré de trop grandes quantités d'HCN et s'il est en excellente santé. Bien que les animaux commencent à manifester des signes d'intoxication à peine 1/4 d'heure environ après la mise à la pâture, les soins apportés risquent d'être inopérants, parce que pratiqués trop tard, le toxique agissant avec une très grande rapidité.

Le traitement suivant a été indiqué comme pouvant apporter éventuellement une amélioration de l'état des animaux :

Injections sous-cutanées d'une solution de :

| | |
|---|---|
| Nitrate de Soude | 3 grammes |
| Hyposulfite et Thiosulfate de Soude | 15 grammes |
| Eau stérile | 20 cc. |

Effectué sous le contrôle d'un vétérinaire, le traitement peut être complété par des injections d'atropine, de glucose, et des inhalations d'ammoniaque.

*Reçu pour publication en juillet* 1966.

## REMERCIEMENTS

Nous adressons ici nos remerciements à notre collègue Mme CAILLENS, du laboratoire de la Chaire de Chimie de l'École nationale supérieure agronomique de Montpellier, qui a bien voulu s'intéresser à nos travaux et nous a aimablement procuré chaque année les solutions titrées et les étalons de référence.

## SUMMARY

A REVIEW OF FODDER SORGHUM TOXICITY AND THEIR CONSUMPTION BY THE CATTLE

The consumption of green fodder sorghum can, in certain circumstances, poison live-stock, especially ruminants. Numerous works (whose references are given) have indicated the origin, the nature of the toxic principle, and its effects on the animals, as well as giving precise information on the factors influencing the hydrocyanic acid content of the plants, the one depending on the cultural medium, the other depending on the plant.

The results obtained at the *Station d'Amélioration des Plantes de Montpellier*, by the use of a simple analytical method, reveal the influence of the stage of growth, the frequency and period of harvest, and above all of the variety, on the amount of hydrocyanic acid in the plants.

In conclusion, systems are given for the establishment and management of the crop, and for the provision to and consumption by the animals, whereby the risk of poisoning is decreased as much as possible.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES


ACHARYA C., NARASIMHA, 1933. Investigations on the development of prussic acid in cholan (*Sorghum vulgare*). *Indian j. agric. Sci.*, **3**, 851-869 (cité par BOYD et *al.*, 1938).

ADRIAN J., JACQUOT R., 1964. Le *Sorgho* et les *Mils* en alimentation humaine et animale. *Monogr. alimen.* V. Vigot Frères Édit. Paris.

BENSON J. A., GRAYE, 1964. Estimatic hydrocyanic acid potential of *Sorghum* plants from leaf samples. *Agron. Abstr. Coop. Sci. divisions*, p. 61.

BOYD E. T., AAMODT O. S., BOHSTEDT G., TRUOG E., 1938. *Sudan-grass* management for control of cyanide poisoning. *J. am. Soc. Agror.*, **30**, 569-582.

BRAITHWAITE D. P., 1952. *East African. Agricult. J.*, 18-54 (cité par ADRIAN J. et JACQUOT R., 1964).

COLEMAN D. H., ROBERTSON D. W., 1938. Preliminary report on inheritance of differential ability of inbred lines of *Sudan-grass* to produce HCN. *Colo. agric. Exper. Sta. Tech. Bull.*, **24**.

COPELAND O. C., FRAPS G. C., 1932. *Texas agric. Exper. Sta. Bull.*, **473**.

DUNSTAN W. R., HENRY T. A., 1902. Cyanogenesis in plants. Part. II. The great Millet. *Philos. Trans. Roy. Soc. of London Sor. A.*, **199**, 399-410,

EPSTEIN J., 1947. Estimation of microquantities of cyanide. *Anal. Chem.*, **19**, 272-273.

FAVERO A., 1953. Variazioni del tenore in acido cianidrico del sorgo in rapporto all'epoca di semina ed allo sviluppo delle piante. *Rivista di Zootecnica*, **9**, 256.

FRANZKE C. J., PUHR LEO F., HUME A. N., 1939. A study of sorghum with reference to content of HCN. *S. D. Exper. Sta. Tech. Bull.*, **1**.

FRANZKE C. H., HUME A. N., 1945. Effect of manure, moisture and mechanical injury on the hydrocyanic acid content of *Sorghum*. *J. Am. Soc. Agron.*, **37**, 523-531.

FRANZKE C. J., HUME A. N., 1945. Liberation of HCN in *Sorghum*. *J. Am. Soc. Agron.*, **37**, 848-851.

FRANZKE C. J., 1948. Diurnal variation of hydrocyanic acid, drymatter, and total sugar in *Sorghum* strains. *J. Am. Soc. Agron.*, **40**, 396-505.

FROHNER, 1923. Cité par PIEDALLU. Le *Sorgho*, 1923.

GORZELEWSKA K., JUSKIEWICZ T., 1961. *Med. Woterynar*, 17-147. (Cité par ADRIAN J. et JACQUOT R., 1964).

HADLEY F. B., KOZELKA F. L., 1935. Antidotes for hydrocyanic poisoning. *Vet. Med.*, **30**, 79-81. (Cité par BOYD F. T., 1938).

HINDMARSCH W. L., 1941. *Australian vet. J.*, 17-219. (Cité par ADRIAN J. et JACQUOT R., 1964).

HOGG P. G., AHLGREN H. L., 1942. A rapid method determining hydrocyanic content of single plants of *Sudan-grass*. *J. Am. Soc. Agron.*, **34**, 199-200.

HOGG P. G., AHLGREN H. L., 1943. Environmental breeding and inheritance studies of hydrocyanic acid in *Sorghum vulgare*, var. *Sudanense*. *J. Am. res.*, **67**, 195, 210.

ILROY MAC R. J., 1951. *The plant glucosides*. Edw. Arnold and Co Edt. London.

LANDI RENZO, 1964. Problemi di tecnica colturale e miglioramento dei Sorghi da foraggio. *Acad. Econ. Agric. dei georgofili XI-7 Firenze.*

LEEMAN A. C., 1935. Hydrocyanic acid in grasses. *Onderstepoort J. Vet Sci. and An. Ind.*, **5**, 97-136. (Cité par BOYD F. T., 1938).

MANGES J. D., 1935. Cyanide poisoning. *Vet. Med.*, **30**, 347-349. (Cité par BOYD F. T., 1938).

MARTIN J. H., COUCH J. F., REINHOLD R., BRIESE, 1938. Hydrocyanic acid content of different parts of the *Sorghum* plant. *J. Am. Soc. Agron.*, **30**, 725-734.

MAXWELL W., 1903. *Sorghum* poisoning. *Queensland Agron. J.*, **13**, 93-98, (cité par BOYD F. T., 1938).

MAO C. H., BLOCHER J. P., LAURENS ANDERSON, SMITH D. C., 1964. Cyanogenesis in *Sorghum vulgare*. I. An Improved method for the isolation of dhurrin ; physical properties of dhurrin. *Phytochemistry* (in press) (cité par SMITH D. C., 1965).

MORAN E. A., 1954. Cyanogenetic compounds in plants, and their significance in animal industry. *Am. J. vet, Res.*, **15**.

MORRISON F. B., 1950. *Feeds and feeding*. MORRISON Publishing Co pp. 406-461, 1 vol. (cité par NELSON, 1953).

NELSON C. E., 1953. Hydrocyanic acid content of certain *Sorghum* under irrigation as affected by nitrogen fertilizer and soil moisture stress. *Agron. J*, **45**, 615-617.

PIEDALLU A., 1923. Le *Sorgho*. Son histoire, ses application. Soc. Edt. Geogr., Paris, 17 rue Jacob.

QUINBY R. J., KARPER R. C., 1962. Forages. 2e *Edit.* Ames. Iowa.

ROGER CHARLES F., BOYD W. J., 1936. *Sudan-grass* and other cyanophoric plants as animal intoxications. A preliminary report. *J. Am. vet. Med. Assoc.*, **88**, 489-500. (Cité par BOYD F. T., 1938).

SANDFORD S., ATWOOD, 1947. Cytogenetics and breeding of forage crops. *Advances in genetics* 1. Acad. Press. Inc. Publ. N. Y., U.S.A.

SCHLIEBLICH J., 1938. Untersuchungen zür ziechtung von *Sudan-grass*, and hirsearten. *Landw. Ib.*, **86**, 372-429.

SMITH D. C., 1965. Cyanogenetic glucoside in relation to breeding of *Sudan-grass*, and its relatives. *Commun. IX^e Congrès Intern. Herb. São Paulo Sect.* 1.

SUMMER D. C., MARTIN W. E., ETCHEGARAY H. S., 1965. Dry matter and protein yields and nitrate content of *Piper Sudan-grass* (*Sorghum Sudanense* (PIPER) STAPF) in response to nitrogen fertilization. *Agron. J.*, **47**, 4, 351-354.

WILLAMAN J. J., WEST R. M., 1916. Effect of climatic factors on the hydrocyanic content of *Sorghum*. *J. Agric. Res.*, **6**, 261-272.

WORDEN A. N. N., 1940. The toxicity of laevulose cyanhydrin, together with general observations on cyanid poisoning. *Vet. rec.*, **52**, 857-865. (Cité par SMITH D. C., 1965).

X..., 1965. Cahiers d'Agriculture pratique des pays chauds. *Sorgho* à grains, *Sorgho* fourragers. *I. R. A. T. I cultures fourragères. Suppl. à Agron. Tropic. XX-1*).

*Ann. Amélior. Plantes*, 1966, **16** (4), 453-456.

# CHRONIQUE DES LIVRES

MATHER (K.). — ANALYSE STATISTIQUE EN BIOLOGIE. Paris, Gauthier-Villars, 1965, 328 p.

L'emploi des méthodes statistiques pour la planification, puis l'interprétation des expériences est devenu, au cours des 20 dernières années, une pratique tout à fait courante, chez les biologistes et chez les agronomes.

On ne conçoit plus maintenant qu'un essai au champ puisse être valablement réalisé sans que la disposition des parcelles soit conforme à des règles qui permettent d'obtenir, avec une approximation mesurable, l'ensemble des renseignements que l'on attend de l'essai et, parfois, quelques autres par surcroît.

Du reste, les types de dispositifs expérimentaux se sont beaucoup diversifiés, grâce aux statisticiens qui ont approfondi les bases théoriques de leurs méthodes, imaginé des modèles et des techniques de plus en plus raffinés, en même temps que leur « clients » devenaient de plus en plus exigeants. Les progrès de la mécanographie et du calcul automatique ont enfin permis l'utilisation pratique de schémas de plus en plus compliqués et l'exploitation complète de toute l'information recueillie par les expérimentateurs.

Il faut bien reconnaître que cette évolution très rapide n'est pas sans dérouter quelque peu l'expérimentateur « moyen ». Certes, des services spécialisés sont maintenant à sa disposition pour lui fournir des plans d'essais, recevoir ses résultats et les lui retourner avec une interprétation établie en langage statistique. Il n'en reste pas moins la nécessité, au départ et à l'arrivée, d'un dialogue entre le statisticien et l'expérimentateur. Ce dernier, tant pour exprimer ses problèmes et parfois pour les concevoir ou les préciser, que pour établir les liens indispensables entre les observations qu'il a faites et les interprétations statistiques qui lui sont fournies de ses résultats, a besoin de posséder une vue claire des principes et de la terminologie de l'analyse statistique.

Les ouvrages traitant des méthodes statistiques et de leur emploi en biologie, en agronomie ou en zootechnie sont nombreux. Ils ne sont pas toujours très clairs pour un non spécialiste et ils sont rares en langue française. C'est pourquoi l'Association de Coordination Technique Agricole a pensé rendre service à tous ceux qu'une initiation à l'analyse statistique intéresse, en publiant la traduction en français d'un des ouvrages les plus classiques. Elle a choisi celui du Pr K. MATHER, l'un des pionniers et des maîtres les plus éminents en la matière. L'exposé des données de base y est particulièrement clair, suit une progression logique et est illustré par de nombreux exemples empruntés à la biologie et à l'agronomie. Le succès de ce livre, dans les pays anglo-saxons et ailleurs, est attesté par le nombre de ses éditions successives depuis 1943, la dernière édition datant de 1964.

Il n'est pas douteux que cette initiative s'avérera très utile pour beaucoup d'expérimentateurs présents ou futurs.

*Introduction à l'édition française par* J. BUSTARRET.

PILET (P.-E.). — LA CELLULE ; STRUCTURE ET FONCTIONS. — Paris, Masson, 2e éd. 1966, 404 p.

Dans son avant-propos, le Pr PILET présente son livre « La Cellule, structure et fonction » comme le résumé de deux cours, l'un de Biologie, l'autre de Physiologie végétale, professés à la Faculté des Sciences de l'Université de Lausanne.

Destiné à des étudiants, ce résumé leur sera certainement extrêmement utile, mais en outre, il aidera à se « recycler » tous ceux qui ne sont plus étudiants et qui sont déjà spécialisés. Certains chapitres donneront un peu une impression de catalogue (en particulier certains paragraphes du chapitre « constitution chimique », mais c'est là un défaut inévitable, qui est largement compensé par l'avantage de présenter un résumé suffisamment complet de toutes les connaissances nécessaires à l'étude de la cellule. Celle-ci est envisagée sous ses deux aspects, morphologique et fonctionnel, et la liaison entre les deux est présentée à la lumière des acquisitions les plus récentes.

D'excellentes illustrations et des schémas très suggestifs rendent la lecture très agréable. Ce petit livre constituera certainement un remarquable guide pour tous ceux qui, étudiants et chercheurs, s'intéressent à la biologie végétale.

J. B.

LOCKE (M.), éd. — CELLULAR MEMBRANES IN DEVELOPMENT. — New-York, London, Academic Press, 1964, 382 p.

Cet ouvrage est le compte rendu du 22e Symposium pour l'étude du développement et de la croissance qui s'est tenu à Storrs, Connecticut, en 1963. La structure et la physiologie des membranes cellulaires sont étudiées. De la comparaison des structures et des propriétés de toutes les membranes de la cellule, il se dégage la notion de « membrane unité ». En effet, les divers articles mettent en évidence la similitude et la continuité des différents systèmes de membranes de la cellule. Les mécanismes de formation de nouvelles membranes sont décrits. La microscopie électronique constitue la technique de base utilisée par les divers auteurs. Les renseignements accumulés sont précieux, mais il est regrettable que la nature chimique et la structure au niveau moléculaire des membranes ne soient pas mieux connues.

T.-E. THOMSON décrit les propriétés des membranes artificielles bimoléculaires phospholipidiques. Il a obtenu des membranes à deux couches qui sont beaucoup plus simples que les membranes biologiques et peuvent être étudiées au niveau moléculaire. Ces membranes pourraient permettre, grâce à leur épaisseur (61 Å) et à leurs propriétés électriques, de reconstituer des systèmes suffisamment voisins des membranes biologiques pour effectuer par exemple une étude des mécanismes de transport actif.

Y. MOULE étudie le reticulum endoplasmique et les microsomes du foie de rat.

Y.-G. VHALEY et ses collaborateurs présentent l'évolution des membranes au cours du développement. Des hypothèses intéressantes sont discutées. L'évolution des membranes au cours de l'oogenèse et les propriétés des membranes de l'oocyte sont décrites par H.-W. BEAMS. Des précisions intéressantes sont également fournies par P.-R. BELL sur les membranes de l'œuf de fougère et par A.-L. et L.-H. COLWIN sur le rôle des membranes dans la fécondation. W.-J. NICKERSON indique la composition chimique des parois cellulaires des bactéries, des levures et de certains champignons. Les membranes cytoplasmiques des cellules végétales sont étudiées par G.-G. LATIES au point de vue perméabilité. Il convient de signaler particulièrement l'article de STEINBERG qui présente son point de vue sur les propriétés adhésives des parois cellulaires.

En définitive, ce livre est intéressant grâce aux renseignements accumulés sur les propriétés des membranes. Mais son contenu ne correspond pas très bien à son titre car un très petit nombre d'articles étudient réellement les membranes sous l'angle du développement.

P. G.

LOCKE (M.), ed. — THE ROLE OF CHROMOSOMES IN DEVELOPMENT. — New York, Academic Press, 1964, 290 p.

Le chromosome est un organite hétérogène parfaitement défini mais fort mal connu. Le développement est par ailleurs un terme extrêmement vague dont le seul emploi précis, en physiologie végétale, tombe malheureusement en dehors de la signification primitive, pourtant large, du terme. C'est dire que le thème du symposium qui a donné naissance à l'ouvrage couvre nécessairement des exposés extrêmement divers.

En fait, la diversité constatée apparaît comme le résultat d'un choix destiné à représenter, dans la mesure du possible, les disciplines les plus directement attachées à l'étude des bases moléculaires de la différenciation cellulaire. L'aspect essentiel de ce recueil est incontestablement la tentative d'éclaircir les mécanismes d'activation et d'inhibition (de « répression ») des gènes. Et l'accent se trouve ainsi placé sur les aspects mouvants des synthèses situées au niveau des chromosomes : variations dans le temps et dans l'espace des manifestations cellulaires (marquage radioactif) ou phénotypiques de ces synthèses.

La Biochimie cherche d'une part à préciser les structures moléculaires susceptibles d'intervenir dans ces phénomènes (protéines chromosomiques ; divers aspects de l'ARN nucléaire) et recherche d'autre part des modèles de mécanismes répresseurs (actinomycine). La Cytologie a obtenu avec la thymidine tritiée et le microscope électronique des précisions spectaculaires en ce qui concerne la réplication de l'ADN et la structure probable des chromosomes. La Génétique raisonne et expérimente sur des situations de plus en plus complexes telles que les mosaïques *fonctionnelles* chez différents Métazoaires ou la différenciation macronucléaire des Ciliés.

La lecture de cet ouvrage dont les 10 articles de fond sont signés par d'éminents spécialistes, donne l'impression d'un bouillonnement intellectuel intense. Cette impression semble liée à quelques

raisons simples. Tout d'abord ces textes sont éloignés de tout esprit de vulgarisation : écrits par des chercheurs sur des sujets encore mal définis, les problèmes de la recherche y apparaissent nettement, et particulièrement l'étroite relation qui unit les buts et les techniques. Contribuent aussi à cette impression, la diversité des méthodes et des techniques, aussi celle des styles et du matériel expérimental : Organismes unicellulaires, Maïs, Drosophile et Animaux supérieurs sont ainsi soumis à l'analyse. Enfin, la cohésion nécessaire est donnée par le thème central dont chaque article éclaire, peu ou prou, un aspect particulier. Ce thème central, la base moléculaire de la différenciation cellulaire, constitue l'une des préoccupations majeures actuelles de la Biologie. Un article d'introduction rassemble un certain nombre des données éparses dans l'ouvrage pour en effectuer une synthèse.

S. E.

TRAVAUX DE BIOLOGIE VÉGÉTALE DÉDIÉS AU Pr LUCIEN PLANTEFOL. — Paris, Masson, 2 vol., 520 p., et 60 pl. h. t., 1965.

Le recueil de travaux dédiés au Pr L. PLANTEFOL comporte dix-sept articles, de ses élèves et de ses amis, dont les sujets concernent des domaines très divers de la Biologie végétale : physiologie du développement, physiologie du métabolisme, physiologie appliquée, radiobiologie, morphologie et morphogenèse, biologie du cancer, systématique, cytologie « électronique » et cytophysiologie, cytogénétique, etc.

Dans cet ensemble divers, qui représente 520 pages de texte illustré et, de plus, 60 planches hors-texte, sont présentés des problèmes et des mises au point parmi lesquelles nous pouvons citer :

P. CHAMPAGNAT. — Carences et inhibition corrélative.

A. MOYSE. — La physiologie des feuilles de *Bryophyllum daigremontianum* BERGER : la synthèse, la dégradation et l'utilisation des acides organiques.

L. L. GENÈVES. — La cellule végétale et les basses températures.

R. BUVAT. — Le cytoplasme végétal.

R. BOUILLENNE. — Importance de l'évolution du facteur eau dans la mise à fleurs chez certaines espèces végétales.

A. NOUGARÈDE. — Organisation et fonctionnement du méristème apical des végétaux vasculaires.

P. OZENDA. — Quelques aspects de la radiobiologie des micro-organismes chlorophylliens.

R. ULRICH. — Données physiologiques sur les fleurs et les fruits. Applications pratiques.

A. GAGNIEU. — Les chromosomes dans la cellule, la plante, l'espèce.

R.-J. GAUTHERET. — Réflexions d'un botaniste sur le problème du cancer.

R. HELLER. — De quelques aspects de la nutrition minérale des plantes et des tissus végétaux.

FAEGRI (K.) and VAN DER PIJL (L.). — THE PRINCIPLES OF POLLINATION ECOLOGY. — Oxford, Pergamon Press, 1966, 248 p.

Au cours des dix dernières années, des données de plus en plus nombreuses sur différents aspects de la pollinisation ont été dispersées dans de nombreux articles. Les botanistes, les généticiens et les entomologistes qui trouvent quotidiennement un point de rencontre justifié par l'importance de la pollinisation sur les plans scientifique et économique dans le domaine des productions de fruits et semences avaient un impérieux besoin de trouver regroupé et coordonné tout un ensemble d'observations et de résultats sur ce sujet.

*The Principles of Pollination Ecology* est l'un des premiers ouvrages qui contribuent à combler cette lacune.

Au cours d'un bref résumé des résultats historiques scientifiques marquants (chap. I), le lecteur est amené à une meilleure compréhension des problèmes de la pollinisation. Vient ensuite une description des différentes techniques utilisées, tant chez la plante que chez le pollinisateur, dans l'analyse de la biologie de la pollinisation (chap. II). La dissémination des spores chez les cryptogames et les gymnospermes est aussi considérée comme une forme de pollinisation (chap. III et IV). La définition de termes botaniques et entomologiques, au début du chapitre V, facilite au lecteur la compréhension des aspects principaux développés ensuite. Après un aperçu de la pollinisation par l'eau ou par le vent, les relations insecte-fleur sont analysées ; on y trouve même des données sur l'efficacité des oiseaux ou des chauves-souris. Ce chapitre (chap. VI) comprend un grand nombre de données un peu disparates mais très significatives qui sont regroupées dans des tableaux synoptiques. D'autres modes de reproduction sont analysés dans le chapitre VI. Les auteurs décrivent ensuite le développement évolutif de la fleur depuis les formes les plus simples jusqu'aux types les plus évolués et spécialisés. Une fleur caractéristique est chaque fois étudiée comme exemple d'un

groupe écologique donné : inflorescence des légumineuses, certaines scrofulariacées, orchidées. (chap. VII).

L'aspect complexe de la spéciation, en particulier de l'adaptation réciproque de la structure florale et du comportement de l'insecte est abordé dans le chapitre VIII. Après une revue (chap. IX) des aspects écologiques de la pollinisation artificielle ou améliorée, les auteurs rassemblent des exemples qui illustrent les grandes remarques exposées au cours de l'ouvrage : on y trouve (chap. X) des dessins précis des fleurs accompagnés de caractéristiques de leurs pollinisateurs respectifs.

Ce livre fait le lien entre le monde de l'insecte et celui de la fleur. Il permet une meilleure adaptation mutuelle du vocabulaire et des travaux des chercheurs de ces deux spécialités. La collaboration d'un généticien aurait vraisemblablement enrichi les aspects botaniques un peu trop descriptifs en mettant en valeur les possibilités évolutives apportées par chaque type de reproduction.

Y. D. et S. T.

ATTI DELLE GIORNATE DI STUDIO SU LA PROPAGAZIONE DELLE SPECIE LEGNOSE. — 26-28 novembre 1964. Universita di Pisa, Instituto di Coltivazioni arboree, 1965, 789 p.

Les journées d'étude sur la propagation des espèces ligneuses ont été organisées par l'*Instituto di Coltivazione arboree*, de l'Université de Pise en novembre 1964, en vue de faire le point des dernières recherches en matière de propagation des plantes ligneuses (arbres fruitiers, arbres forestiers, espèces ornementales, etc.).

Ce volume renferme quelques 70 rapports (avec des résumés en anglais) sur les sujets suivants : propagation de l'olivier, bouturage (en particulier bouturage sous brouillard) pouvoir germinatif de différentes graines, greffage, transplantation, problèmes phytosanitaires des pépinières, etc.

*Ann. Amélior. Plantes*, 1966, **16**.

# TABLE DES MATIÈRES DE L'ANNÉE 1966

M. ARNOUX. — Influence des facteurs de milieu sur l'expression de la sexualité du Chanvre monoïque (*Cannabis sativa* L.)
II. — Action de la nutrition azotée ..... 123
III. — Note sur l'interaction entre le cycle photopériodique et la nutrition azotée ..... 259

A. BERBIGIER. — Nouvelles données à propos de l'étude d'un croisement diallèle, chez l'Orge ..... 219

P. BERTHELEM. — Essai d'utilisation d'insectes pollinisateurs (*Bombus* LATR.) dans l'amélioration de la Féverole (*Vicia faba* L.)..... 101

D. BOUBALS. — Étude de la distribution et des causes de la résistance au Phylloxéra radicicole chez les Vitacées ..... 145

D. BOUBALS. — Hérédité de la résistance au Phylloxéra radicicole chez la Vigne ..... 327

C. BRIAN. — Contribution à l'interprétation des essais de porte-greffes du Poirier ..... 349

Yvonne CAUDERON. — Étude cytogénétique de l'évolution du matériel issu de croisement entre *Triticum aestivum* et *Agropyron intermedium*. I. — Création de types d'addition stables ..... 43

J. COURANJOU. — Divers types d'alternance observés chez *Prunus domestica* ..... 233

M.-A. DALEBROUX. — Analyse de la variance. Une méthode générale d'établissement des coefficients orthogonaux permettant la décomposition d'une somme de carrés en ses composantes de régression polynomiales ... 263

L. DEGRAS. — La résistance à l'Oïdium (*Erysiphe graminis avenae* MARCHAL) et la sélection de l'Avoine ..... 385

S. ESSAD. — Recherches sur l'origine des hybrides naturels *Festuca loliacea* $2n$ et $3n$ par la morphologie et la cytogénétique comparatives ..... 5

P. HUGUES. — Mise au point sur la toxicité des Sorghos fourragers et leur consommation en vert par le bétail ..... 423

B. LANTIN. — Étude de variétés de cassis ..... 311

P. LECLERCQ. — Une stérilité mâle utilisable pour la production d'hybrides simples de Tournesol ..... 135

C. MARENAUD, J.-M. LESPINASSE. — Contribution à la sélection clonale des pommiers *Golden Delicious* ..... 199

E. POCHARD. — Données expérimentales sur la sélection du Piment (*Capsicum annuum* L.) ..... 185

R. POUGET. — Étude du rythme végétatif : caractères physiologiques liés à la précocité de débourrement chez la Vigne ..... 81

M. RIVES. — Étude critique de dispositifs expérimentaux sur la Vigne..... 411

R. SAUNIER. — Méthode de détermination de la résistance à l'asphyxie radiculaire de certains porte-greffes d'arbres fruitiers ..... 367
G. SOLIGNAT. — La Xénie, manifestation précoce de l'hétérosis chez le Châtaignier ..... 71

*Notes techniques*

Marie-Thérèse CHESNEAUX. — La multiplication végétative chez le Sainfoin (*Onobrychis sativa* L.) ..... 211
Y. DEMARLY, Marie-Thérèse CHESNEAUX. — La culture de la Luzerne en conditions artificielles ..... 299
B. THIBAULT, L. HERMANN. — Essais de bouturage herbacé de la variété *Williams* (*Pyrus communis* L.) ..... 273

*Chronique des livres* ..... 117
..... 453

## CONTENTS

M. ARNOUX. — The influence of environment on sexual expression in monœcious Hemp (*Cannabis sativa* L.). .....
II. — The effect of nitrogen nutrition ..... 123
III. — Note on the effects of photoperiod and nitrogen supply .... 259
A. BERBIGIER. — New data about diallel crossing in Barley ..... 219
P. BERTHELEM. — An experiment on the utilization of pollinating insects (*Bombus* LATR.) in the improvement of field beans (*Vicia faba* L.) ..... 101
D. BOUBALS. — A study of the distribution and causes of resistance to radicicolous Phylloxera in the *Vitaceae* ..... 145
D. BOUBALS. — Inheritance of resistance to radicicolous Phylloxera in the Vine ..... 327
C. BRIAN. — Contribution to the analysis of rootstock trials for the Pear-tree.. 349
Yvonne CAUDERON. — Cytogenetic study of the material resulting from a cross between *Triticum aestivum* and *Agropyron intermedium*. I. — Creation of stable addition lines ..... 43
J. COURANJOU. — Various types of alternate bearing observed in *Prunus domestica* ..... 233
M.-A. DALEBROUX. — Variance analysis. A general method for computing the orthogonal coefficients necessary for partitioning a sum of squares into its polynomial regression components ..... 263
L. DEGRAS. — Resistance to the powdery Mildew (*Erysiphe graminis avenae* MARCHAL) and the selection of oats ..... 385
S. ESSAD. — Comparative cytogenetic and morphological research on the origin of the natural hybrids *Festuca loliacea* 2*n* and 3*n* ..... 5
P. HUGUES. — Review of fodder Sorghum toxicity and their consumption by the cattle ..... 423
B. LANTIN. — Study of Black-currant varieties ..... 311
P. LECLERCQ. — A male sterility available for the production of single-cross Sunflowers ..... 135
C. MARENAUD, J.-M. LESPINASSE. — Contribution to the clonal selection of the apple variety *Golden Delicious* ..... 199

E. POCHARD. — Experimental data on the selection of Bell-pepper (*Capsicum annuum* L.) ..... 185
R. POUGET. — A study of vegetative rythm : physiological characteristics linked with earliness of bud bursting in the Vine..... 81
M. RIVES. — A critical study of methods for analyzing experimental results in grape-vine trials ..... 411
R. SAUNIER. — A method of determining the resistance to root asphyxia of certain fruit-tree stocks..... 367
G. SOLIGNAT. — Xenia, early manifestation of heterosis in the sweet chesnut. 71

*Technical notes*

Marie-Thérèse CHESNEAUX. — Vegetative multiplication in Sainfoin (*Onobrychis sativa* L) ..... 211
Y. DEMARLY, Marie-Thérèse CHESNEAUX. — Growing alfalfa in artificial conditions ..... 299
B. THIBAULT, L. HERMANN. — Rooting of *Bartlett's Williams* softwood cuttings (*Pyrus communis* L.) ..... 273

*Book reviews* ..... 117
..... 453

# RECOMMANDATIONS AUX AUTEURS

Le manuscrit doit être dactylographié sur papier format 21 × 27, avec un double interligne, au recto seulement. Chaque page sera numérotée et des feuilles séparées seront utilisées pour les références bibliographiques, les tableaux, les légendes des figures et graphiques, etc.

*Au début de chaque mémoire*, on indiquera : — *le titre du mémoire :* il ne devra pas comporter d'abréviation ni de formules chimiques (sauf pour les isotopes) ; — *le nom des auteurs*, précédé des initiales du prénom pour les hommes, du prénom complet pour les femmes ; *le nom des techniciens* ayant collaboré à l'étude relatée, précédé de la mention : avec la collaboration technique de... ; — *le nom de l'établissement*, dans lequel ont été effectuées les recherches et son adresse.

*Les mémoires* seront rédigés, autant que possible, d'après le plan ci-dessous :

a) *sommaire :* résumé suffisamment précis pour que sa lecture renseigne sur la nature du travail et son importance ; b) *introduction* dans laquelle on indique l'objet des recherches entreprises en relation avec les travaux déjà effectués dans le domaine ; c) *techniques expérimentales et matériel utilisé*, en donnant sous une forme concise, tous les détails nécessaires pour que le lecteur puisse répéter les expériences ; d) *résultats* à présenter de la manière la plus brève possible ; e) *discussion et conclusion ;* f) *résumé* destiné à être traduit en anglais comportant une analyse *complète* de l'article ; g) *remerciements* pour les collaborations, les fonds les dons... ; h) *références bibliographiques.*

*Les travaux originaux en anglais* doivent présenter la même composition que les mémoires rédigés en français, mais ils comportent obligatoirement un résumé français très *complet* placé en tête de l'article. Les figures, graphiques, tableaux et photographies seront sous-titrés en français.

*Pour les autres documents* (notes, mises au point , revues rapports, etc.) l'auteur devra suivre un plan logique et le mettre en évidence par une titration appropriée.

*Les références bibliographiques* doivent être citées dans le texte de la manière suivante : DUPONT et DUVAL (1954). Lorsque la référence comporte plus de trois auteurs, seul le premier auteur sera mentionné, suivi de et *al.* A la fin de l'article, les références constituant la bibliographie doivent être citées par ordre alphabétique des noms d'auteurs, et par ordre de dates pour un même auteur.

*Pour les articles :* le (s) nom (s) de (s) auteur (s) suivi (s) des initiales du (des) prénom (s) ; la date de parution de l'article ; le titre de l'article (dans la langue originale pour l'allemand, l'anglais, l'italien, l'espagnol et en français dans tous les autres cas, avec indication entre parenthèses de la langue d'origine, sauf si l'auteur étranger a sous-titré dans l'une des quatres langues mentionnées) : le titre du périodique en abrégé, selon la World List of Scientific Periodicals, où le Bulletin Signalétique du C. N. R. S. ; le volume ; la première et la dernière page de l'article.

*Pour les ouvrages :* le nom de l'auteur avec les initiales du prénom ; la date de l'édition ; le titre complet de l'ouvrage dans la langue originale, sans abréviations (pour les langues utilisant des alphabets autres que l'alphabet latin, la traduction du titre sera donnée entre parenthèses, avec mention de la langue d'origine) ; le volume ; la première et la dernière page du paragraphe se rapportant aux résultats discutés, et, si l'on cite l'ouvrage en entier, le nombre de volumes et le nombre total de pages ; le numéro de l'édition s'il y en a plusieurs ; le nom de l'éditeur ; le lieu de l'édition. Si l'ouvrage est collectif, on indiquera en plus le nom de l'auteur du chapitre cité, le nom des rédacteurs principaux, précédé de la mention « in », le titre de l'ouvrage.

La mention de « communication personnelle » ou « données non publiées » etc. doit être faite entre parenthèses. Lorsque l'auteur a relevé une référence dans une revue d' « Abstracts », le mentionner à la fin de la référence, entre parenthèses.

*Les tableaux, dessins, graphiques, cartes, photographies*, doivent être fournis à part. Les tableaux et figures doivent faire l'objet de deux numérotations distinctes, en chiffres arabes l'une et l'autre.

Les auteurs peuvent disposer leurs tableaux soit dans le sens de la largeur de la revue, soit dans le sens de la longueur. Dans le sens de la largeur, le total des signes et des espaces disponibles est de 100. Dans le sens de la longueur, il est de 155. Les tableaux en longueur, c'est-à-dire ceux pouvant disposer de 155 signes, ne seront admis que s'ils comprennent plus de 8 lignes de chiffres, de manière qu'une page entière de la revue ne soit pas occupée par un tableau très long et très étroit.

Les graphiques ne doivent pas faire double emploi avec les tableaux.

Les légendes et les énoncés des graphiques et dessins doivent être dactylographiés sur feuille séparée, et porter les numéros des figures.

*Les graphiques, schémas, cartes, dessins d'appareils* seront envoyés *à l'état de projets*, leur exécution définitive étant confiée au Bureau de Dessin de l'I. N. R. A. Seules deux réductions à l'impression sont admises : *soit* × 0,5, *soit* × 0,25.

Il est rappelé que le format utile des Annales est : 16 × 24 cm ; ces dimensions ne doivent pas être dépassées.

*Photographies :* Il est recommandé de fournir des épreuves bien contrastées sur papier blanc, et de préférence en format 9 × 12. Si les photographies doivent être associées pour constituer des planches, on adoptera les normes suivantes : 2 photos 9 × 12, 4 photos 9 × 5,5, 6 photos 5,5 × 5,5. Dans ce cas, chaque photo devra porter un numéro en chiffres arabes visible après clichage.

Les légendes des photographies doivent être dactylographiées sur feuilles séparées et porter les numéros des figures.

*Correction des épreuves :* les auteurs recevront deux épreuves à corriger. Les corrections « d'auteur » ne sont autorisées que sur le premier jeu d'épreuves.

*Envoi du manuscrit :* M. MAYER, Centre national de Recherches agronomiques ,78 - Versailles, (France). On demande deux exemplaires.

# INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

*149*, rue de Grenelle, PARIS-VII^e^. Tél. : INV. 41-09.

Directeur général : J. BUSTARRET

Inspecteurs généraux : G. DROUINEAU
R. FÉVRIER
P. MORNET

**Rédaction des Annales**

Pour l'ensemble des Séries : J. BUSTARRET

*Annales agronomiques.* — S. HÉNIN, Chef du Département Agronomie.
H. GESLIN, Chef du Département Bioclimatologie.

*Annales de Physiologie végétale.* — Y. CÖIC, Chef du Département Physiologie végétale.

*Annales de l'Amélioration des Plantes.* — R. MAYER, Chef du Département Génétique et Amélioration des Plantes.

*Annales des Épiphyties.* — H. DARPOUX, Chef du Département Pathologie végétale.
B. TROUVELOT, Chef du Département Zoologie agricole.
G. VIEL, Directeur du Laboratoire de Phytopharmacie.

*Annales de l'Abeille.* — J. LOUVEAUX. Directeur de la Station de Recherches sur l'Abeille et les Insectes sociaux.

*Annales de Zootechnie.* — A.-M. LEROY, Professeur honoraire à l'Institut national agronomique.
R. FÉVRIER, Inspecteur général de la Recherche agronomique.
R. PÉRO, Chef du Département Recherches sur l'Élevage.
J. POLY, Chef du Département Génétique animale.

*Annales de Technologie agricole.* — M. FLANZY, Chef du Département Technologie des Produits végétaux.
G. MOCQUOT, Chef du Département Technologie des Produits animaux.

*Annales de Biologie, animale, Biochimie, Biophysique.* — A. FRANÇOIS, Chef du Département Recherches de Nutrition.
C. THIBAULT, Chef du Département Physiologie animale.

ADMINISTRATION ET SECRÉTARIAT DE LA RÉDACTION :
Service des Publications de l'I. N. R. A.
route de Saint-Cyr, 78 - VERSAILLES, Tél. : 950-75-22

**TARIF DES ABONNEMENTS POUR 1967**

| | France F | Étranger F | Le N° F |
|---|---|---|---|
| **ANNALES AGRONOMIQUES** | 75 | 81 | 15 |
| **ANNALES DE L'AMÉLIORATION DES PLANTES** | 55 | 59 | 15 |
| **ANNALES DES ÉPIPHYTIES** | 55 | 59 | 15 |
| avec supplément « ÉTUDES DE VIROLOGIE » | 75 | 80 | 25 |
| **ANNALES DE ZOOTECHNIE** | 55 | 59 | 15 |
| **ANNALES DE TECHNOLOGIE AGRICOLE** | 55 | 59 | 15 |
| **ANNALES DE BIOLOGIE ANIMALE, BIOCHIMIE, BIOPHYSIQUE** | 55 | 59 | 15 |
| **ANNALES DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE** | 50 | 54 | 14 |
| **ANNALES DE L'ABEILLE** | 40 | 44 | 12 |
| **ANNALES DES SCIENCES FORESTIÈRES** | 60 | 60 | 18 |

Chaque demande de changement d'adresse doit être accompagnée de 1 F en timbres-poste.

Les demandes d'abonnements doivent être adressées au Service des Publications de l'Institut national de la Recherche agronomique, route de Saint - Cyr, 78 - VERSAILLES.
Règlement : par chèque bancaire à l'ordre du Régisseur des Publications de l'I. N. R. A. par virement postal à son compte courant : 9064-43 Paris, sans mentionner d'adresse, au par bons U.N.E.S.C.O.
Les demandes peuvent être souscrites également par l'intermédiaire des libraires dans les conditions habituelles.
A Paris, bureau de vente, 11 rue Jean Nicot, 7^eme^.

## TABLE DES MATIÈRES

B. LANTIN. — Étude de variétés de Cassis ..... 311
D. BOUBALS. — Hérédité de la résistance au Phylloxéra radicicole chez la Vigne ..... 327
C. BRIAN. — Contribution à l'interprétation des essais de porte-greffes du Poirier ..... 349
R. SAUNIER. — Méthode de détermination de la résistance à l'asphyxie radiculaire de certains porte-greffes d'arbres fruitiers ..... 367
L. DEGRAS. — La résistance à l'Oïdium (*Erysiphe graminis avenae* MARCHAL) et la sélection de l'Avoine ..... 385
M. RIVES. — Étude critique de dispositifs expérimentaux sur la Vigne ..... 411
P. HUGUES. — Mise au point sur la toxicité des Sorghos fourragers et leur consommation en vert par le bétail ..... 423

*Chronique des livres* ..... 453

## CONTENTS

B. LANTIN. — Study of Black-currant varieties ..... 311
D. BOUBALS. — Inheritance of resistance to radicicolous Phylloxera in the Vine ..... 327
C. BRIAN. — Contribution to the analysis of rootstock trials for the Pear-tree ..... 349
R. SAUNIER. — A method of determining the resistance to root asphyxia of certain fruit-tree stocks ..... 367
L. DEGRAS. — Resistance to the powdery Mildew (*Erysiphe graminis avenae* MARCHAL) and the selection of oats ..... 385
M. RIVES. — A critical study of methods for analyzing experimental results in grape-vine trials ..... 411
P. HUGUES. — Review of fodder Sorghum toxicity and their consumption by the cattle. 423

*Book review* ..... 453

I. N. 660 380 0510 262